

Treball de Fi de Grau

Grau en enginyeria en tecnologies industrials

Anàlisi numèrica de la rigidesa de bastidors de prestatgeria metàl·lica soldats

Annex

Autor: Martínez Jiménez, Pau
Directors: Pastor Artigues, M. Magdalena
Roure Fernandez, Francesc
Convocatòria: Juliol 2016

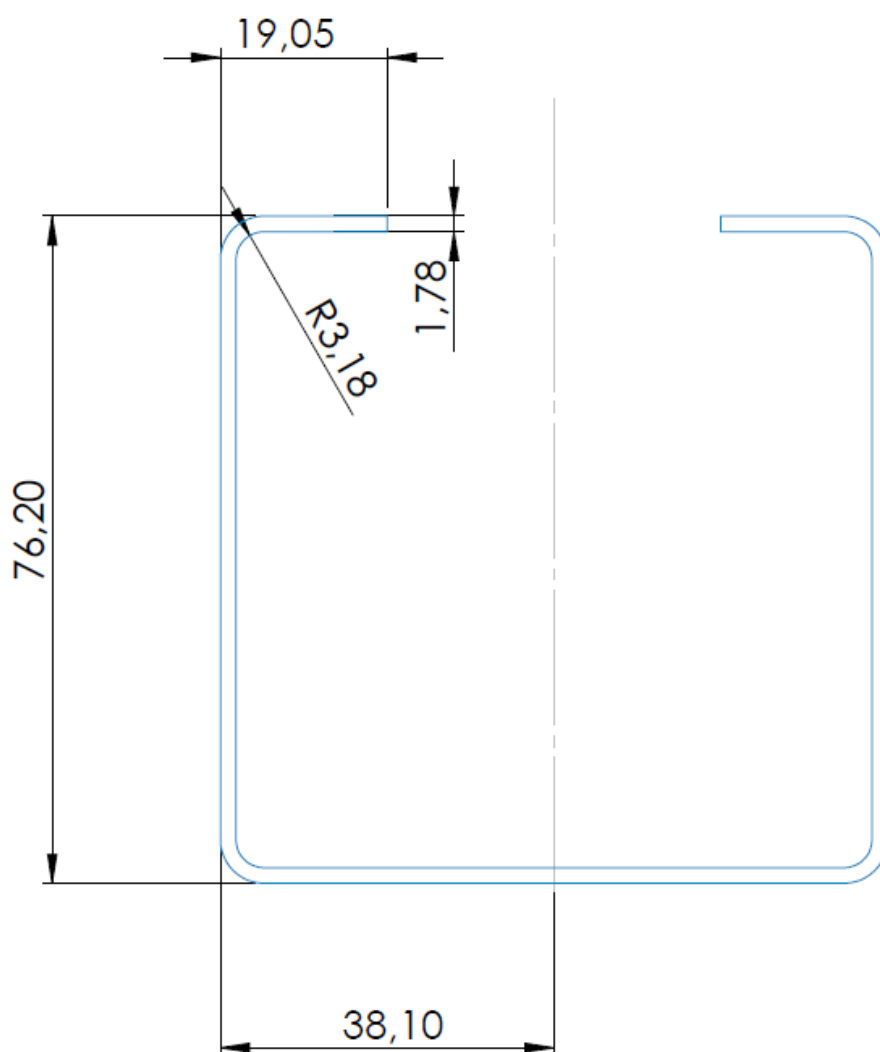


Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona

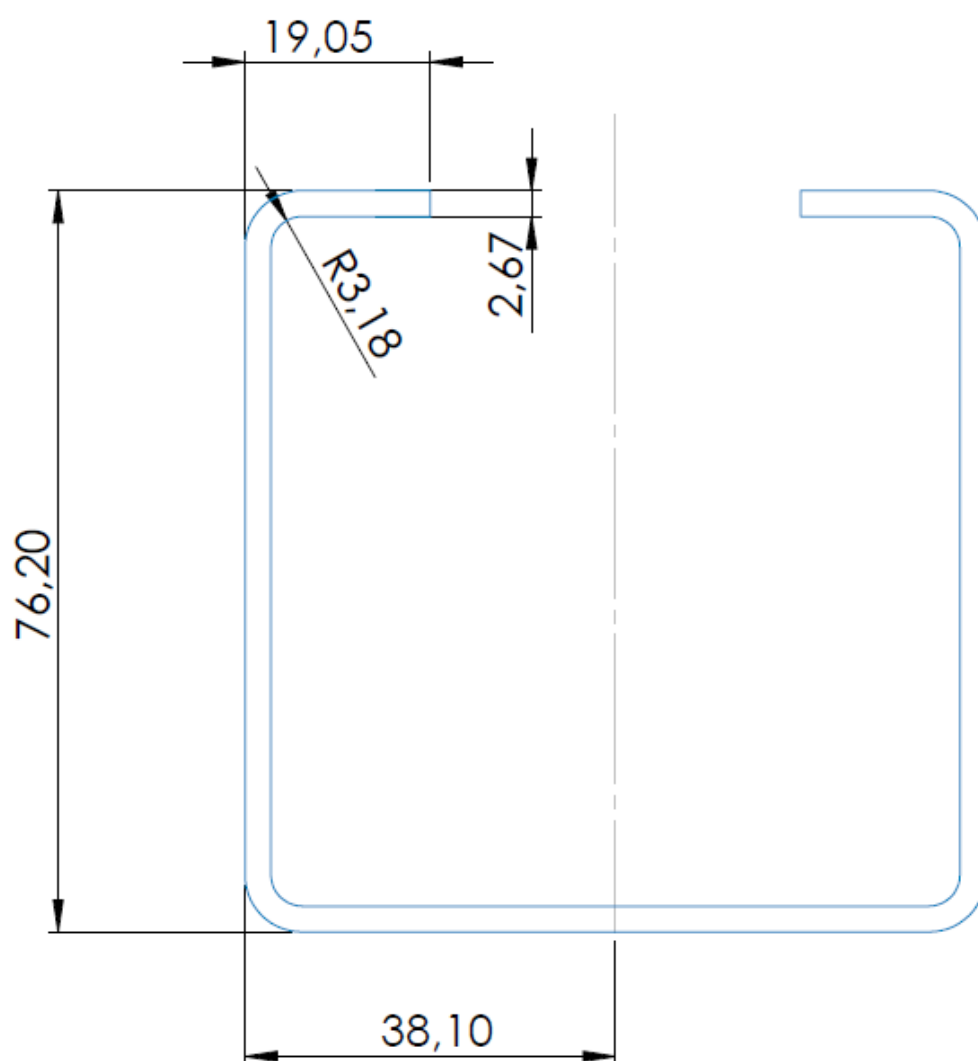


- C1: secció de 3x3 polzades i 0.07 polzades de guix, referida com a secció prima.
- C2: secció de 3x3 polzades i 0.105 polzades de guix, referida com a secció gruixuda.
- C3: secció de 1.5x1.25 polzades i 0.06 polzades de guix, secció dels travessers i diagonals.

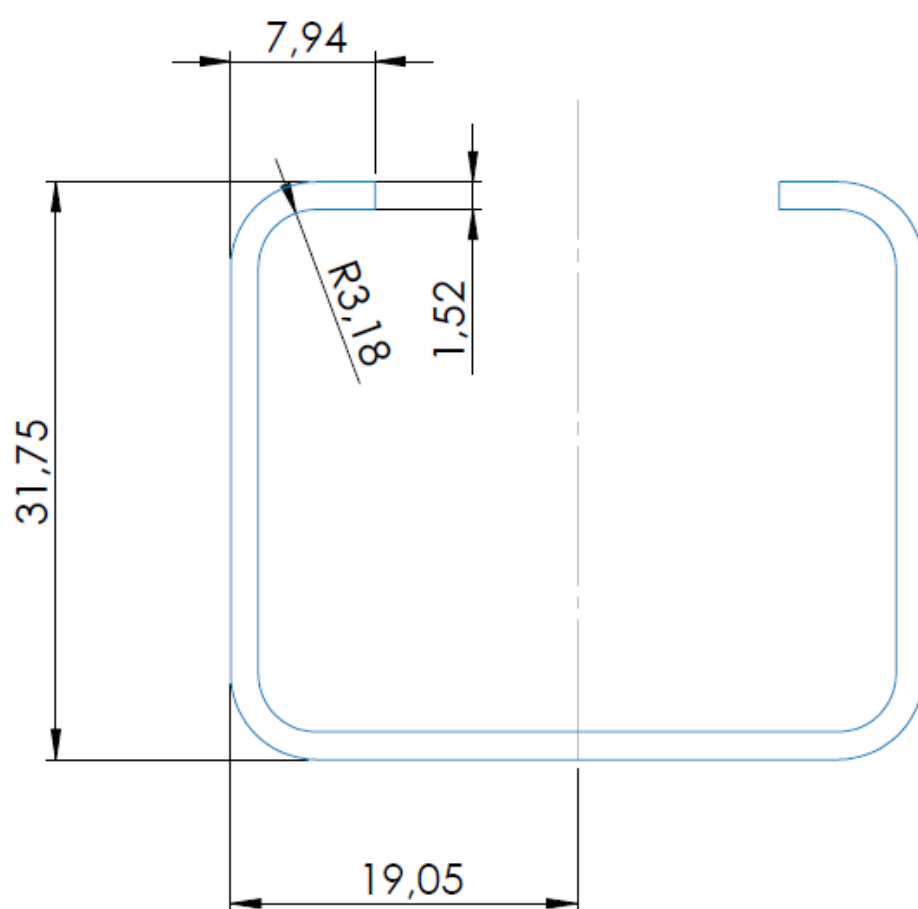
Secció C1:



Secció C2:



Secció C3:

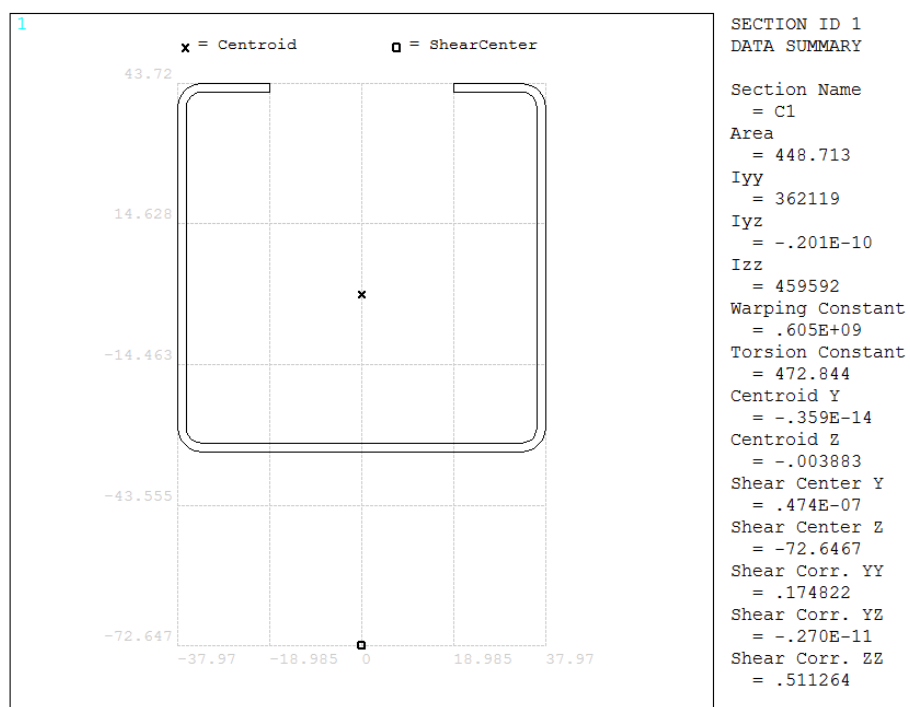


2. Càlculs

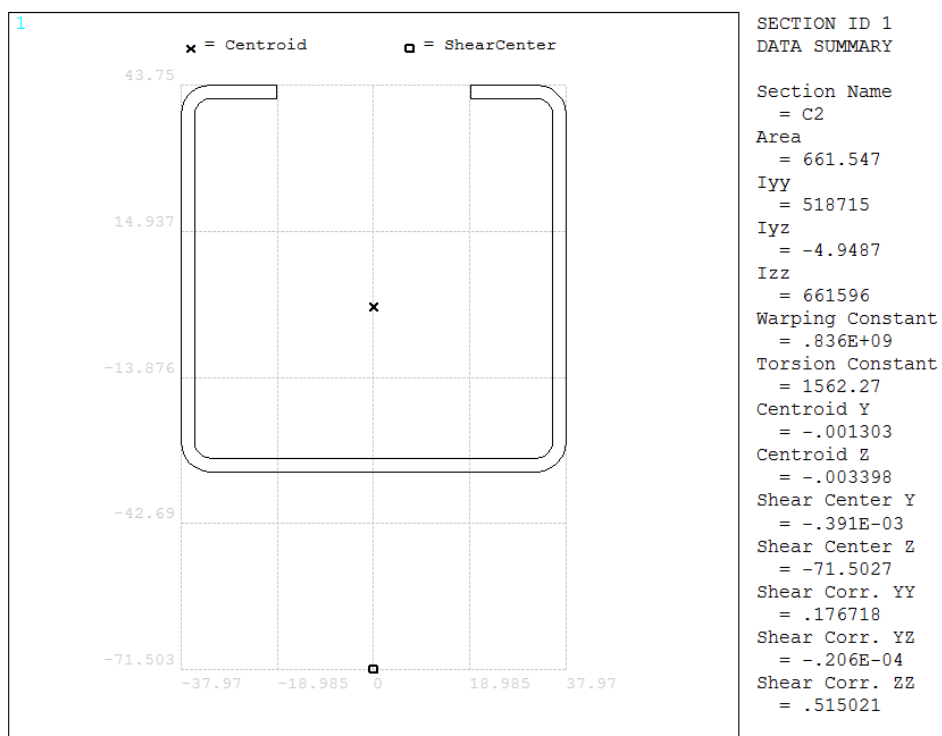
2.1. Propietats de secció

ANSYS calcula una sèrie d'aproximacions per a les propietats de secció de cada un dels elements resistents. A continuació in resum d'aquestes:

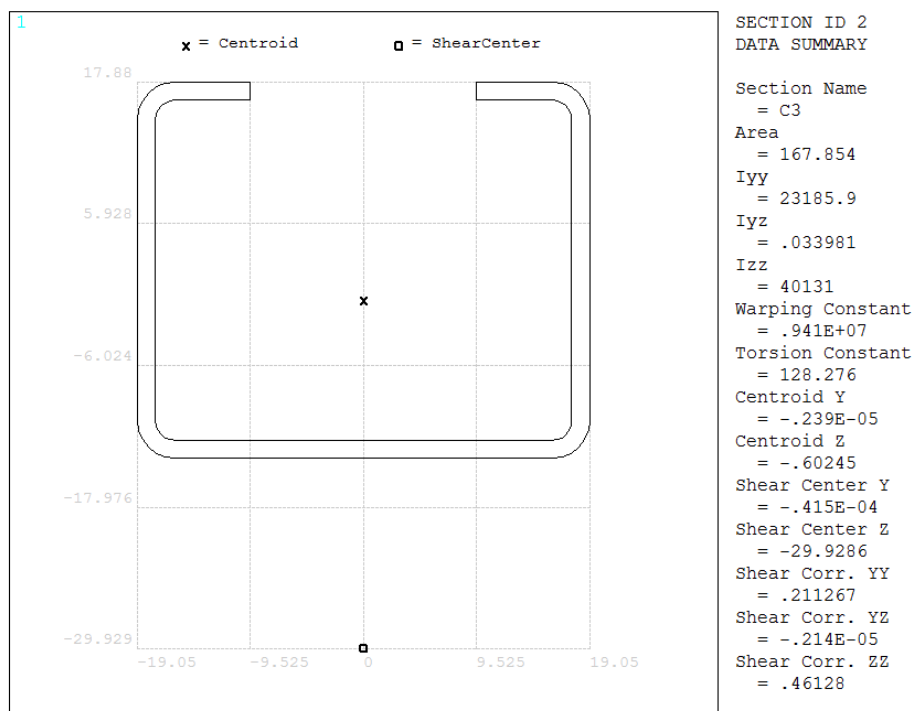
- Secció C1:



- Secció C2:



- Secció C3:



3. Disseny i simulació

3.1. ANSYS 15.0

Programari de CAE (computer aided engineering) de simulació per elements finits. El seu camp d'aplicació es ampli incloent des de anàlisi tèrmic i electromagnètic fins a càlcul estructural. Aquest últim és el que més interessa per a aquest projecte.

El càlcul estructural es basa en la aplicació del principi dels treballs virtuals. El principi imposa que el treball virtual fet per les forces externes al sistema ha de valer el mateix que l'intern.

El programa es basa en aplicar aquesta equació a diferents tipus de dominis, la solució dels quals és coneguda. L'ús d'aquests dominis en conjunt per a casos de més complexitat fa emergir la solució específica de la estructura en qüestió

3.1.1. BEAM188

Aplicant la equació anterior a un domini format per una secció plana arbitrària arrossegada per una corba (prisma mecànic) s'obtenen els elements de tipus biga.

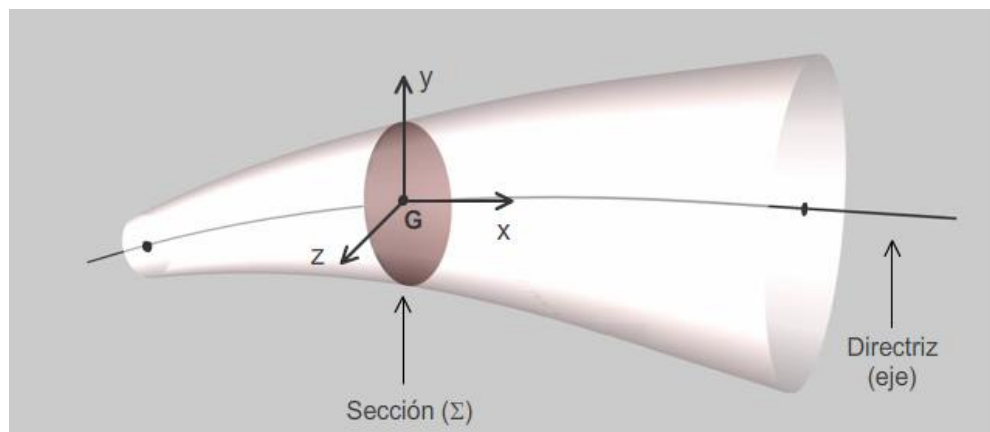


Fig. 3-1:Prisma mecànic. Font [7]

Aquests elements varien en segons quines suposicions és realitzin, un dels que es més general es l'element BEAM188, que és l'utilitzat en aquest treball.

Es tracta d'un element 3D general basat en la teoria de bigues de Timoshenko. L'element té 12 graus de llibertat, 3 de translació i 3 de rotació a cada extrem.

3.1.2. Requisites

Per poder utilitzar aquest element amb confiança d'obtenir una solució aproximada a la real, s'utilitza el rati de esveltesa per jutjar l'aplicabilitat de l'element. En general es recomana un rati major o igual a 30.

$$SR = \frac{GAL^2}{EI}$$

Equació 3-1

En el cas que ens ocupa, per les variables geomètriques s'utilitzarà el valor més desfavorable, que en el bastidor són els travessers horitzontals. Així, aquest rati pren el valor de 2795.56.

Com el valor es considerablement superior a 30 esmentat anteriorment, l'element compleix els requisits d'utilització.

4. Assajos de les unions

Informes dels assajos de les unions duts a terme al LERMA, s'ometen els sol·licitants de l'assaig per privacitat

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 4 DE 43

2.2.- METODO

El objetivo del ensayo es medir la rigidez de la unión entre el puntal y la diagonal a tracción y a compresión.

Los ensayos se han realizado entre el 18/6/13 y el 18/9/13.

A continuación se enumeran las principales características de este ensayo:

Montaje: (ver fig. 1)

- En los extremos del puntal se montan dos bases que alojan un eje situado en el centro de gravedad de la sección del puntal. La distancia entre ejes de las bases montadas sobre el puntal es de 24in.
- El puntal con las bases se monta en un extremo sobre un apoyo fijo y en el otro extremo sobre un apoyo móvil.
- El puntal se monta horizontal (cuando la diagonal viene soldada formando 90° con el puntal) o a 45° (cuando la diagonal viene soldada formando 45° con el puntal) de manera que la diagonal quede vertical.
- La carga se aplica mediante un cilindro hidráulico a la diagonal a través de una rótula esférica.
- En los ensayos de tracción el cilindro está articulado en los dos extremos.
- En los ensayos de compresión la base del cilindro está fija y la diagonal está guiada quedando libre únicamente el desplazamiento vertical.
- Se mide el desplazamiento sobre el alma del puntal en la dirección perpendicular del mismo, en la sección central y en una sección, a 225mm (8.86in) a cada lado de la sección central. Se mide también el desplazamiento vertical de la diagonal, y para la disposición a 45° se mide el desplazamiento del alma del puntal en la proyección vertical de la diagonal.

Instrumentación:

- La fuerza se mide mediante un captador de fuerza extensométrico de capacidad 50kN (11.24kip), y linealidad mejor que el 1%.
- El desplazamiento en los apoyos, sección central y diagonal se mide mediante dos captadores de desplazamiento de linealidad mejor que el 1%.
- Las señales de todos los captadores se tratan y se introducen mediante una tarjeta conversora en la memoria de un ordenador.

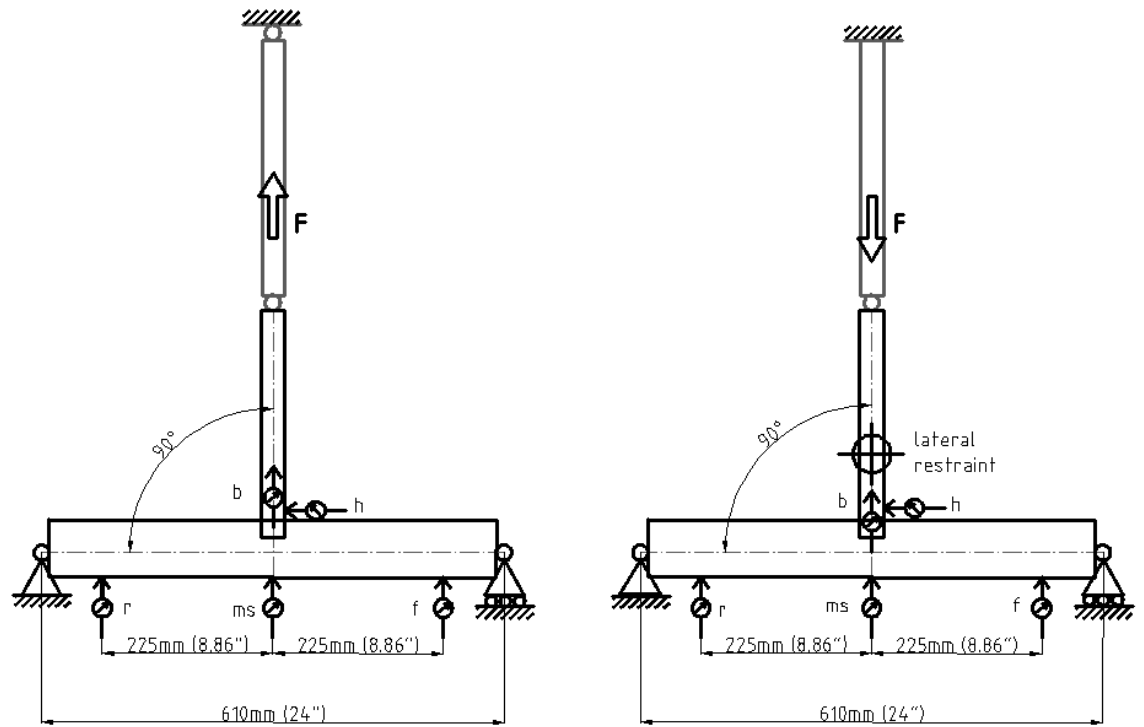
Operativa:

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 5 DE 43

- Se toma el cero de los captadores.
- Se inicia el registro de las señales procedentes de los captadores.
- Se aumenta la fuerza hasta provocar el fallo de la unión.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 6 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013



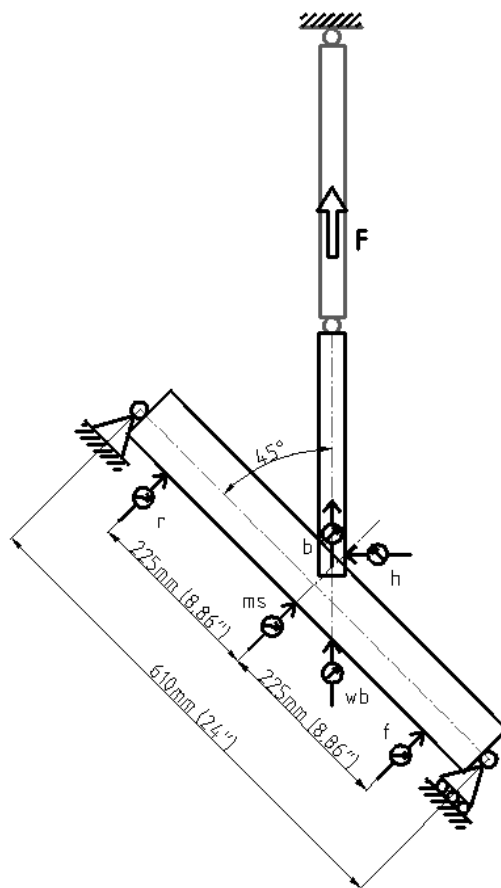
a) Tracción

b) Compresión

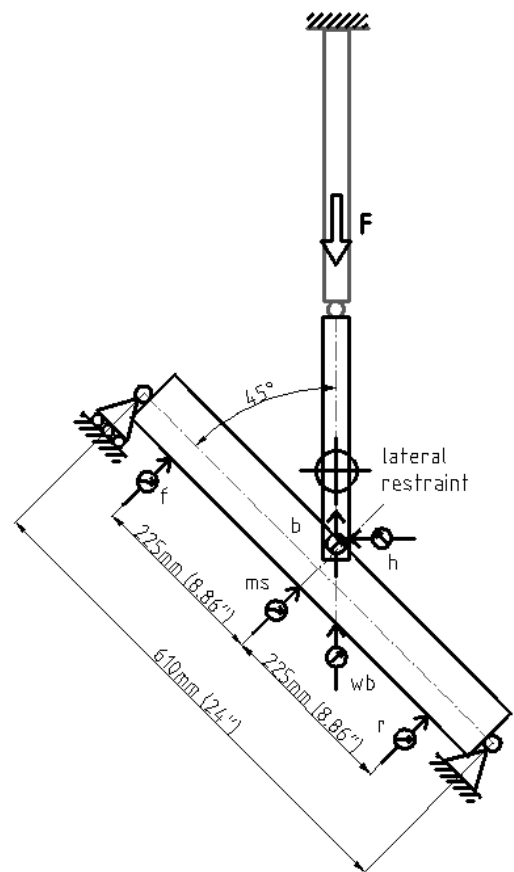
Figura 1: Disposición experimental del ensayo a 90°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 7 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013



b) Tracción



b) Compresión

Figura 2: Disposición experimental del ensayo a 45°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 8 DE 43

3.- RESULTADOS

A partir de los datos experimentales, se calcula la rigidez de la unión diagonal-puntal, la flexión del puntal y el desplazamiento horizontal para las diferentes disposiciones de ensayo. Con estos valores se obtienen los gráficos que se incluyen en el apartado 4.

$$\text{midspan} = ms - (f + r) / 2$$

$$\text{spring} = b - ms \text{ (para uniones a } 90^\circ)$$

$$\text{spring} = b - wb \text{ (para uniones a } 45^\circ)$$

$$\text{horiz disp} = h$$

siendo: (ver fig. 1 y 2)

- ms la media de las lecturas de los captadores situados sobre el alma del puntal, en la sección media.
- wb la media de las lecturas de los captadores situados sobre el alma del puntal, en la dirección de la fuerza (para uniones a 45°)
- f la media de las lecturas situadas en el apoyo con rótula deslizante sobre el alma del puntal, a 225mm (8.86in) de la sección media.
- r la media de las lecturas situadas en el apoyo con rótula fija sobre el alma del puntal, a 225mm (8.86in) de la sección media.
- b la media de las lecturas de los captadores situados sobre la diagonal, en la dirección de la fuerza
- h la lectura del captador situado sobre la diagonal, perpendicular a la fuerza

3.1 COMPORTAMIENTO DE LA UNION

En el ensayo con la diagonal a 90° a tracción, el fallo se da por rotura del puntal y la diagonal junto a la soldadura con una gran deformación de los labios del puntal en un ensayo y por desgarro del labio junto a la soldadura y la abolladura del alma en el otro.

En el ensayo con la diagonal a 90° a compresión, el fallo es debido al desgarro del labio del puntal junto a la soldadura observándose una gran deformación de la diagonal y de los labios del puntal.

En el ensayo con la diagonal a 45° a tracción, el fallo es debido al puntal, por desgarro del labio junto a la soldadura y la abolladura del alma.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 9 DE 43

En el ensayo con la diagonal a 45° a compresión, el fallo es debido a la abolladura de la diagonal y la rotura de labio del puntal junto a la soldadura.

3.2 FUERZA MÁXIMA APLICADA Y RIGIDEZ DE LA UNIÓN

Los resultados se resumen en las tablas siguientes.

0.07in column - horizontal brace in tension 90º				
test	1	2	3	mean
F _{max} (kip)	5.40	5.92	6.19	5.84
midspan (in)	0.025	0.033	-	0.029
horizontal (in)	0.060	0.086	-	0.073
F _{stiff} (kip)	1.5			1.5
stiffness (kip/in)	37.58	28.03	-	32.81
midspan (in)	0.012	0.013	-	0.013
horizontal (in)	0.025	0.032	-	0.029

0.07in column - horizontal brace in compression 90º				
test	1	2	3	mean
F _{max} (kip)	3.47	3.34	3.45	3.42
midspan (in)	0.191	0.140	0.094	0.142
horizontal (in)	0.028	0.025	0.013	0.022
F _{stiff} (kip)	1.75			1.75
stiffness (kip/in)	20.27	22.02	16.67	19.66
midspan (in)	0.013	0.013	0.003	0.010
horizontal (in)	0.006	0.008	0.010	0.008

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de setembre de 2013		PÀG. 10 DE 43

0.07in column - diagonal brace in tension 45º				
test	1	2	3	mean
F_{\max} (kip)	7.74	7.93	7.94	7.87
midspan (in)	0.051	0.030	-	0.040
horizontal (in)	0.321	0.324	-	0.323
F_{stiff} (kip)	2.25			2.25
stiffness (kip/in)	43.28	44.11	-	43.69
midspan (in)	0.012	0.009	-	0.010
horizontal (in)	0.019	0.027	-	0.023

0.07in column - diagonal brace in compression				
test	1	2	3	mean
F_{\max} (kip)	4.77	4.89	4.92	4.86
midspan (in)	0.077	0.113	0.121	0.104
horizontal (in)	0.257	0.471	0.537	0.422
F_{stiff} (kip)	3			3
stiffness (kip/in)	31.35	31.77	33.93	32.35
midspan (in)	0.012	0.013	0.017	0.014
horizontal (in)	0.079	0.075	0.062	0.072

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 11 DE 43

4.- GRÁFICOS

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 12 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

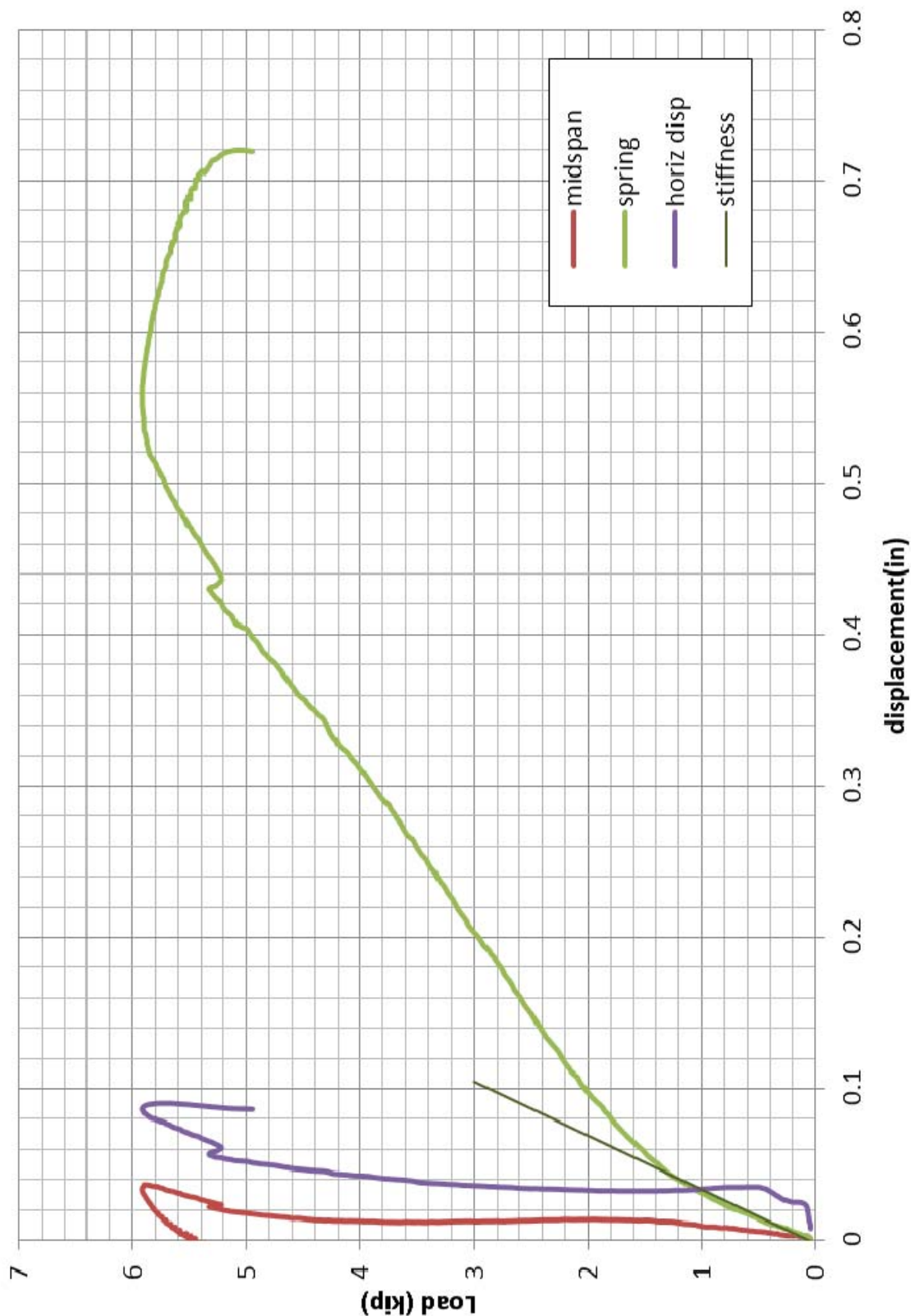
0.07inch-horizontal brace in tension. Test nº1.



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 13 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

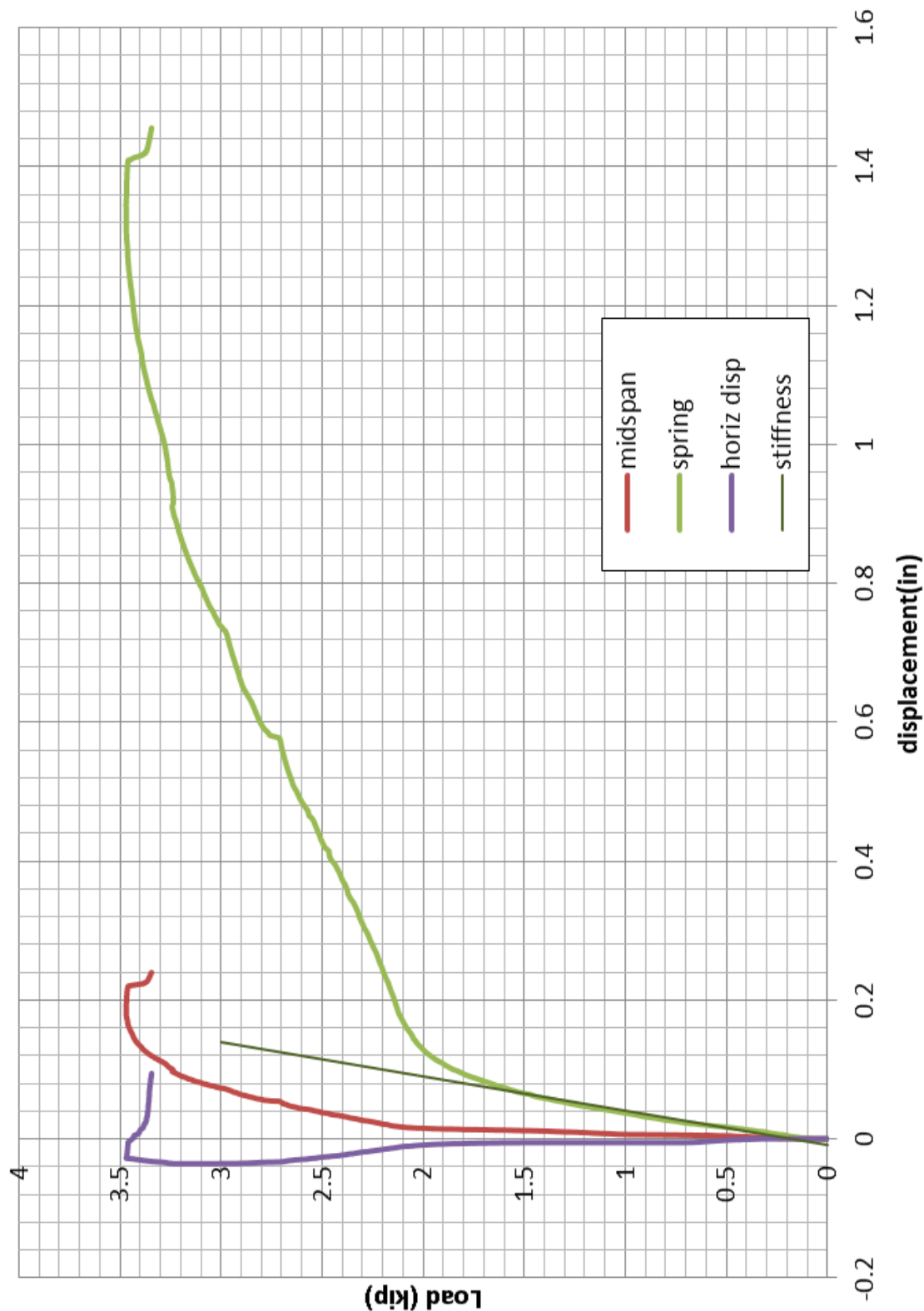
0.07inch-horizontal brace in tension. Test nº 2



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 14 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

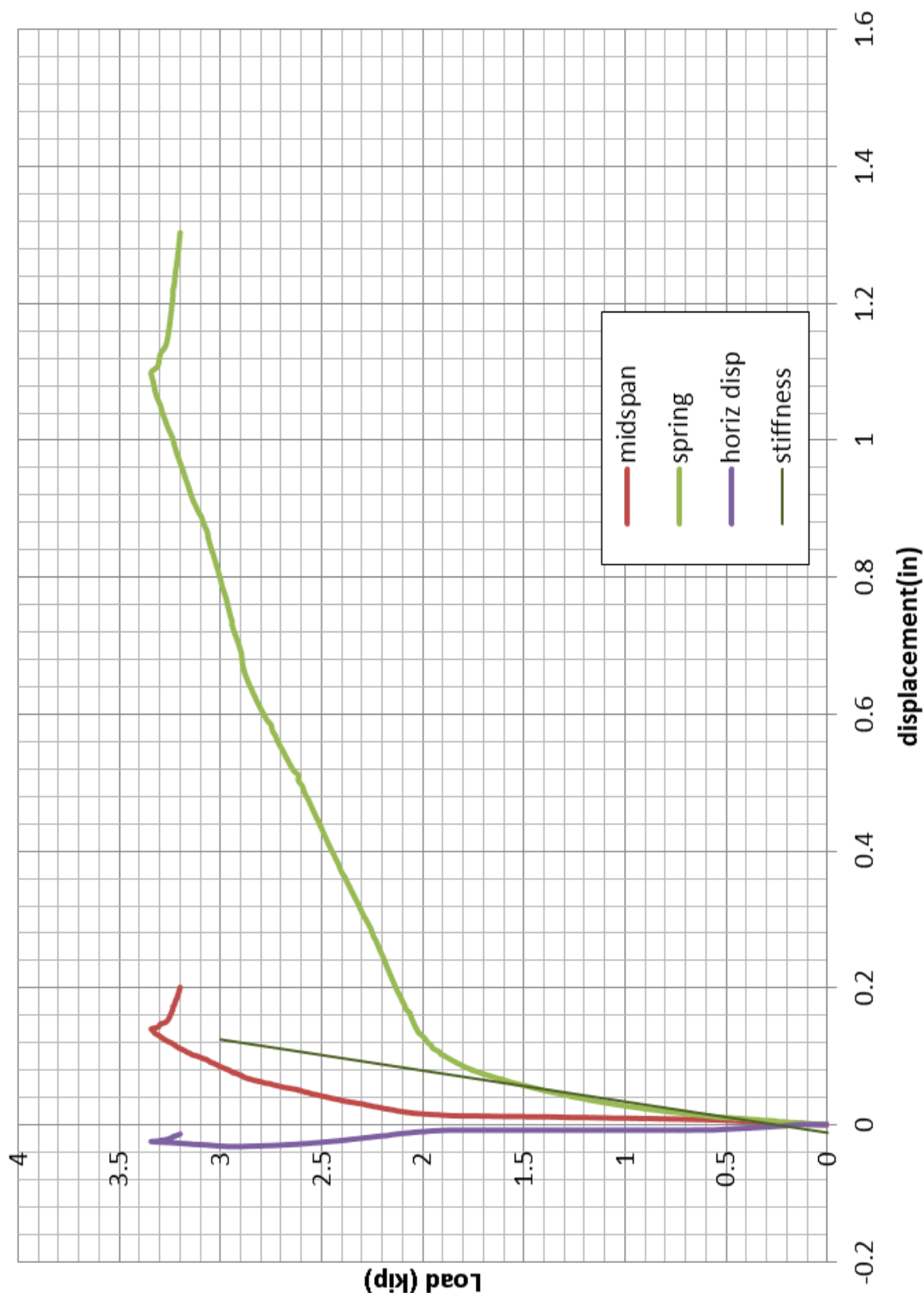
0.07 in-horizontal brace in compression. Test nº1



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 15 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

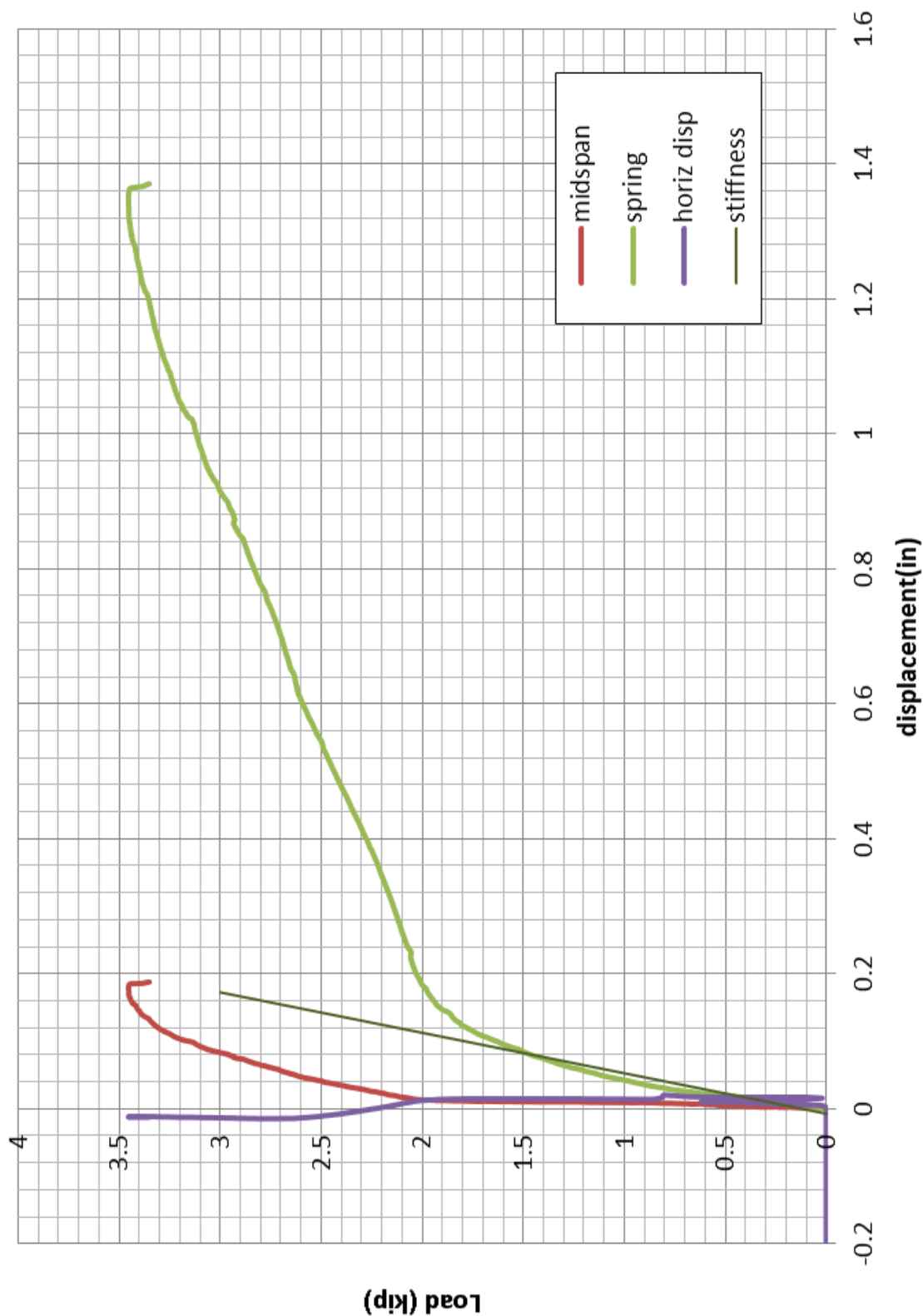
0.07 in-horizontal brace in compresion. Test nº2



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 16 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

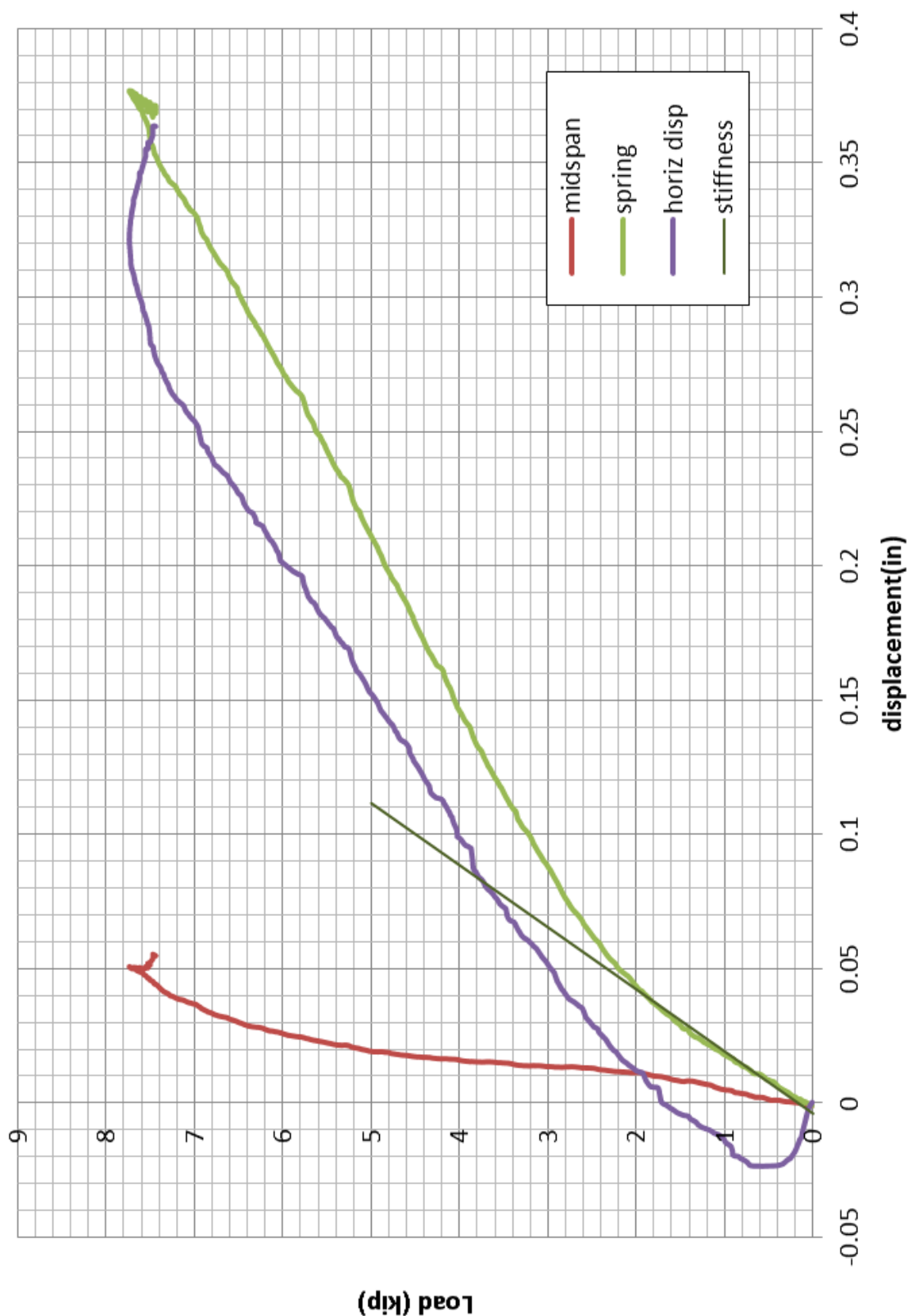
0.07 in-horizontal brace in compression. Test nº3



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 17 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

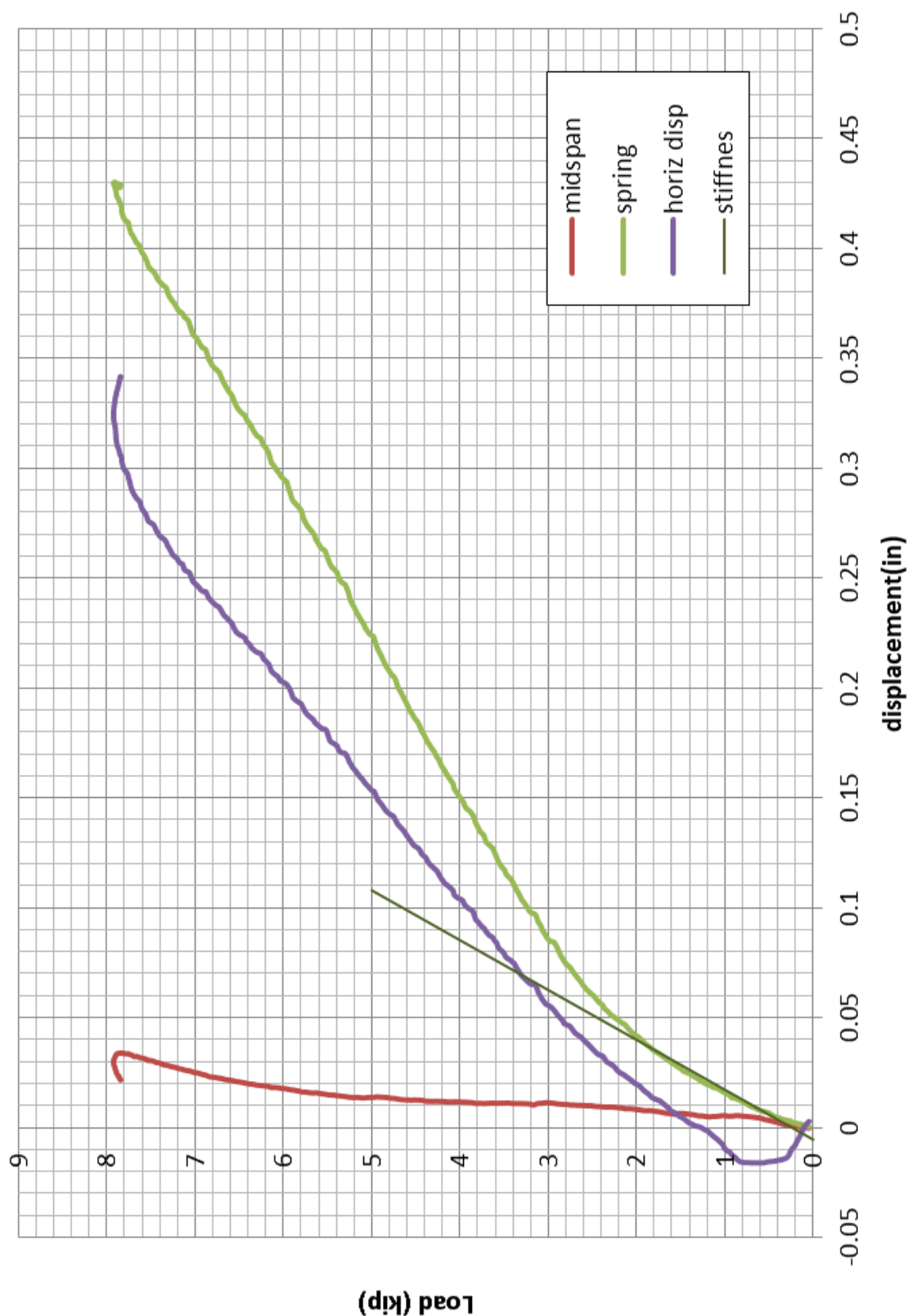
0.07inch-diagonal brace in tension. Test nº 1



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 18 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

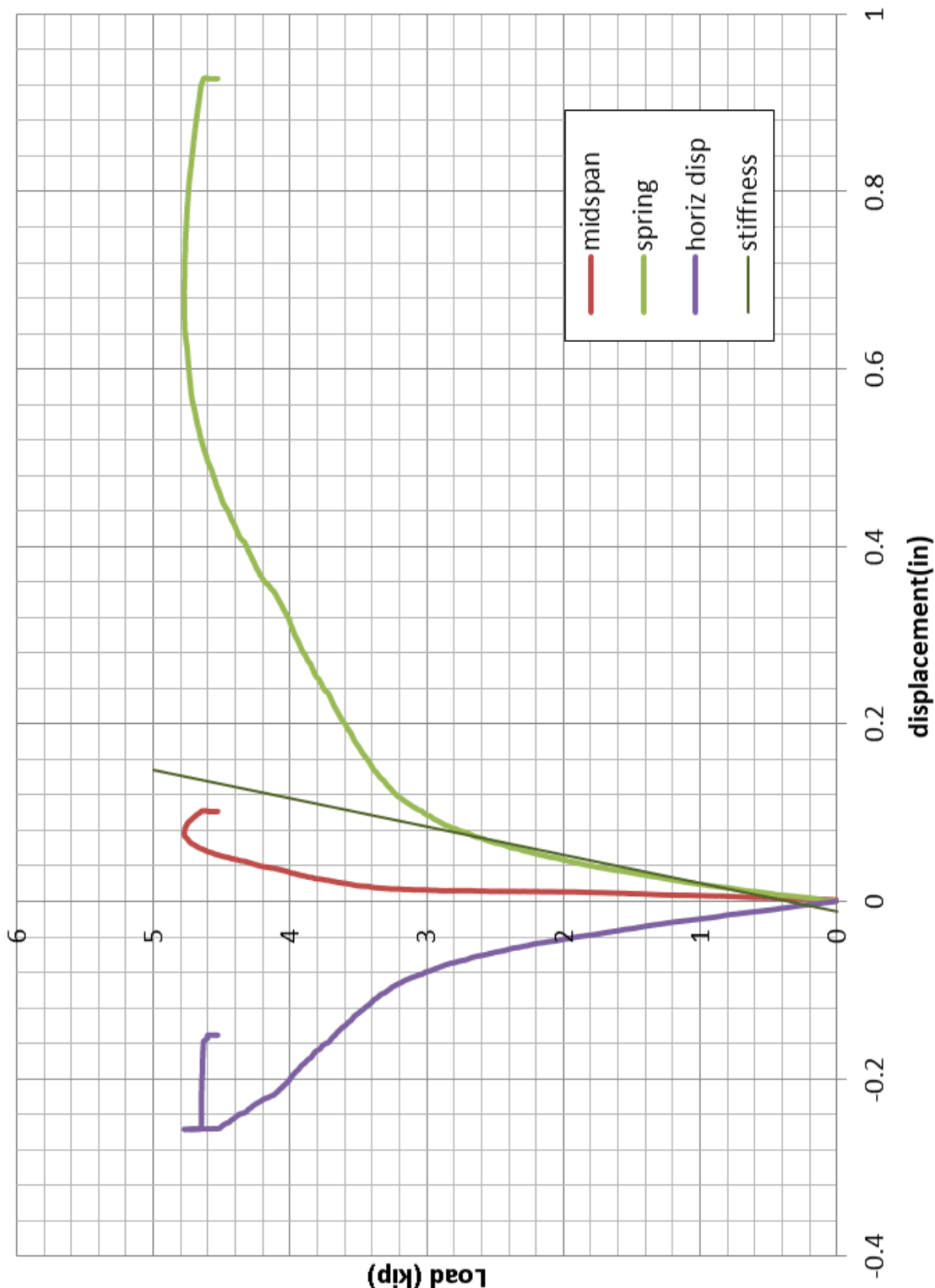
0.07inch-diagonal brace in tension. Test nº 2



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 19 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

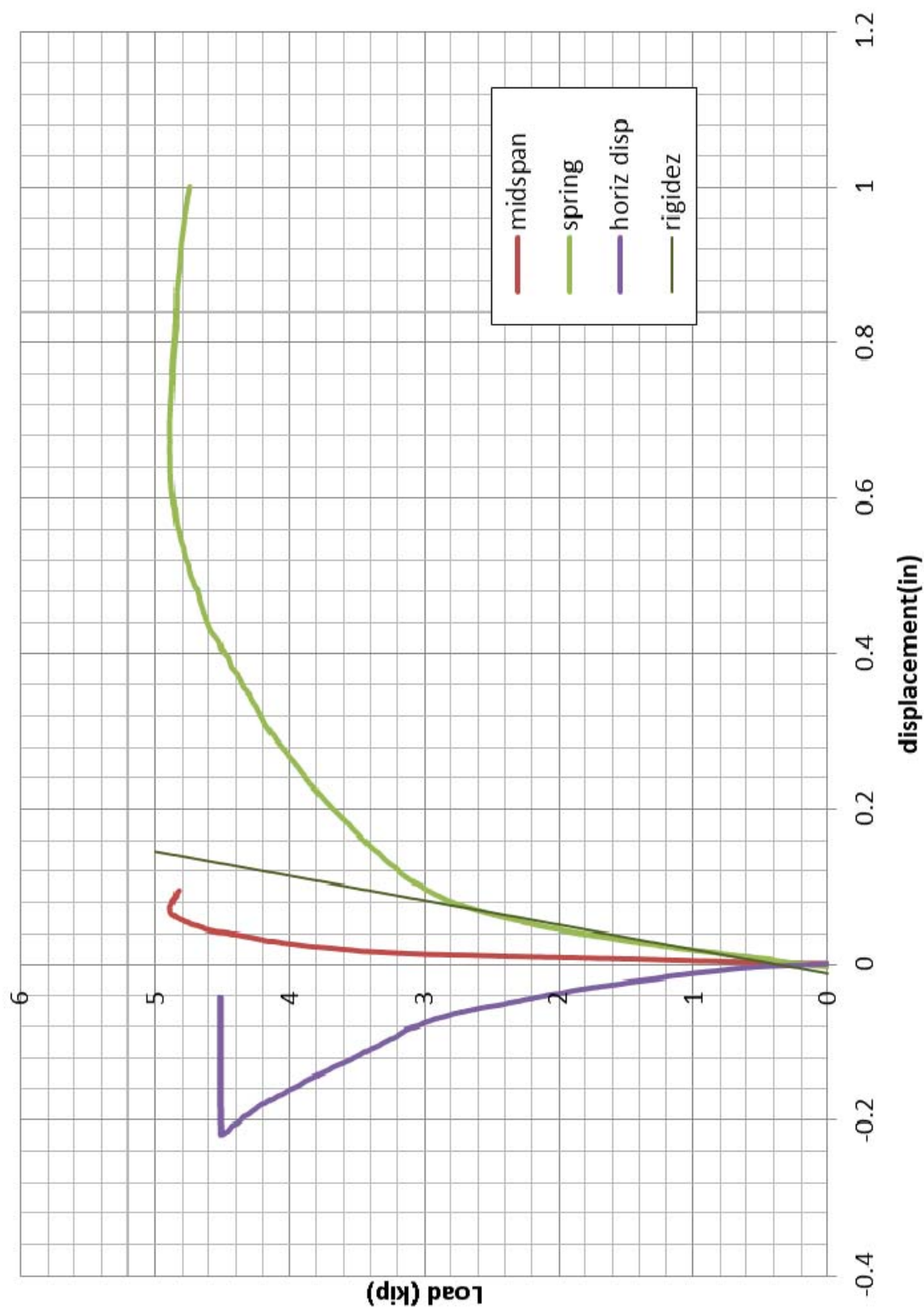
0.07inch-diagonal brace in compression. Test nº 1



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 20 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

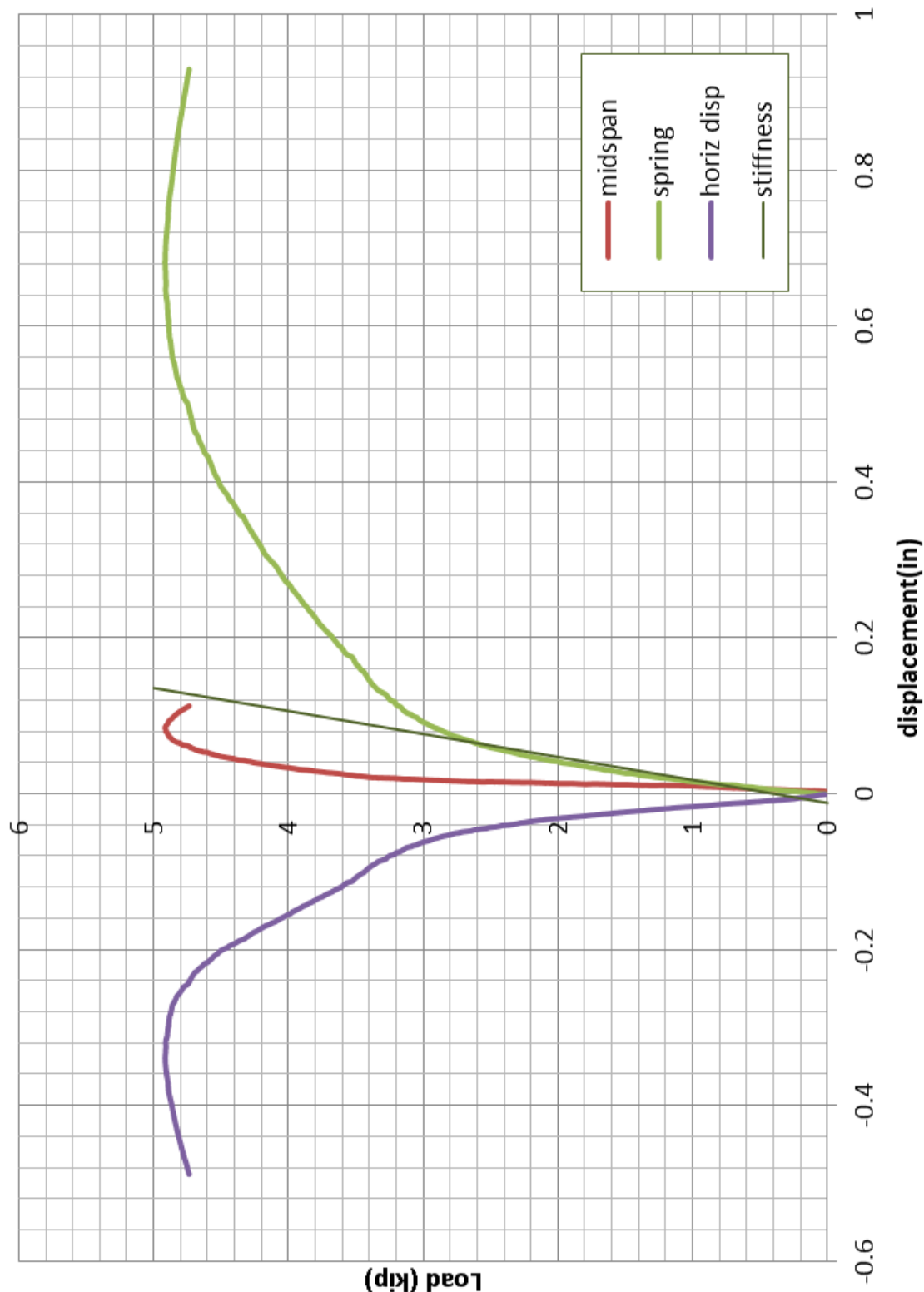
0.07inch-diagonal brace in compression. Test nº 2



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 21 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

0.07inch-diagonal brace in compression. Test nº 3



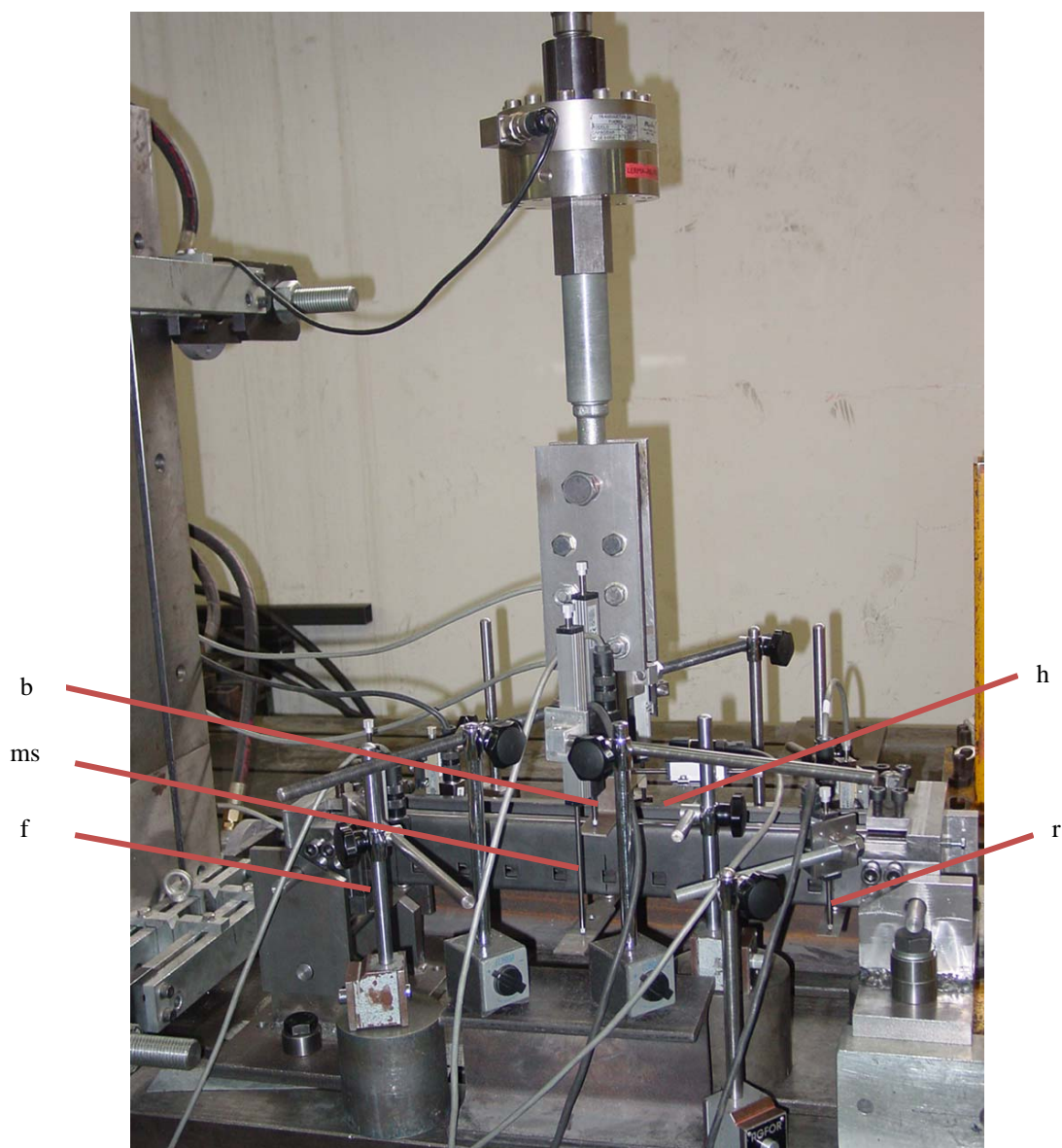
LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 22 DE 43

5.- FOTOGRAFÍAS



Fot. 1: Disposició ensayo tracció a 90°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 23 DE 43



Fot. 2: Disposició captadors de desplaçament en ensayo a 90°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 24 DE 43

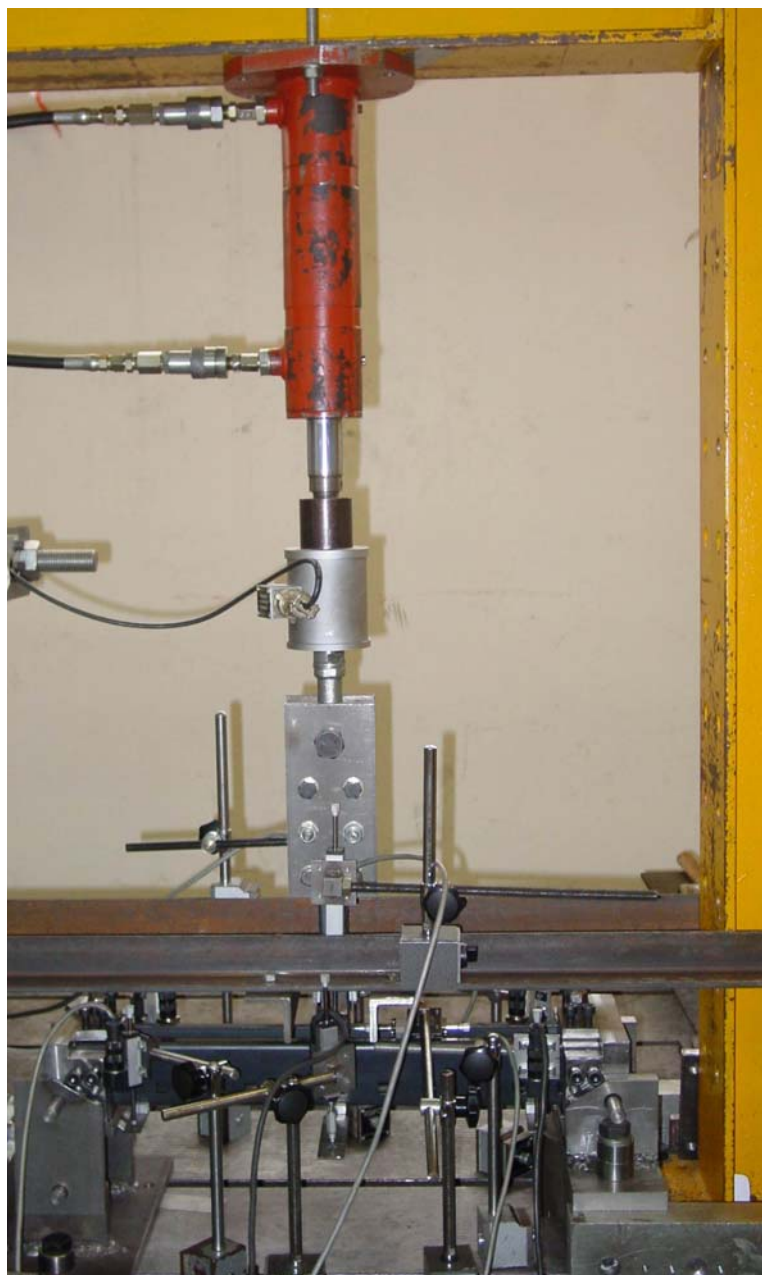


Fot. 3: Tracci3n a 90°. Fallo por rotura de la diagonal y el puntal junto a la soldadura.



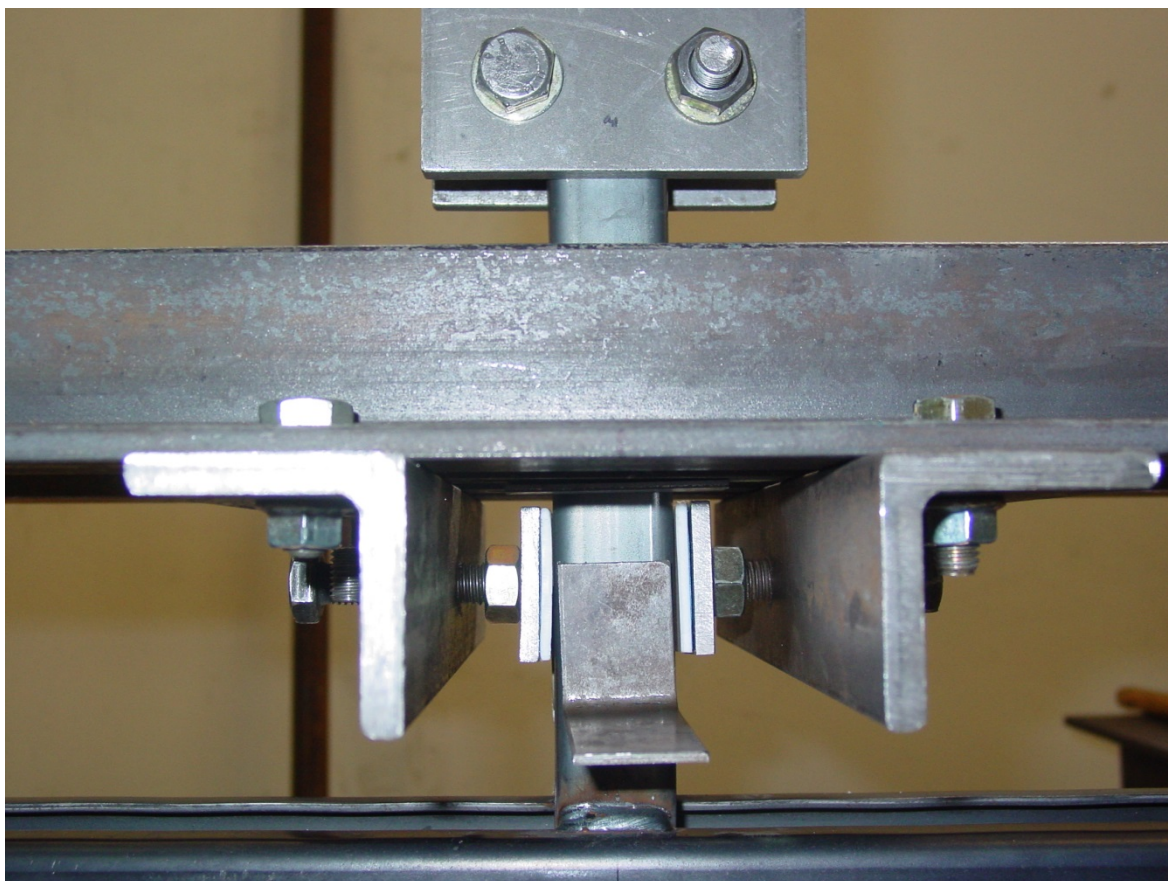
Fot. 4: Tracci3n a 90°. Fallo por abolladura del alma del puntal y desgarr0 del labio.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 25 DE 43



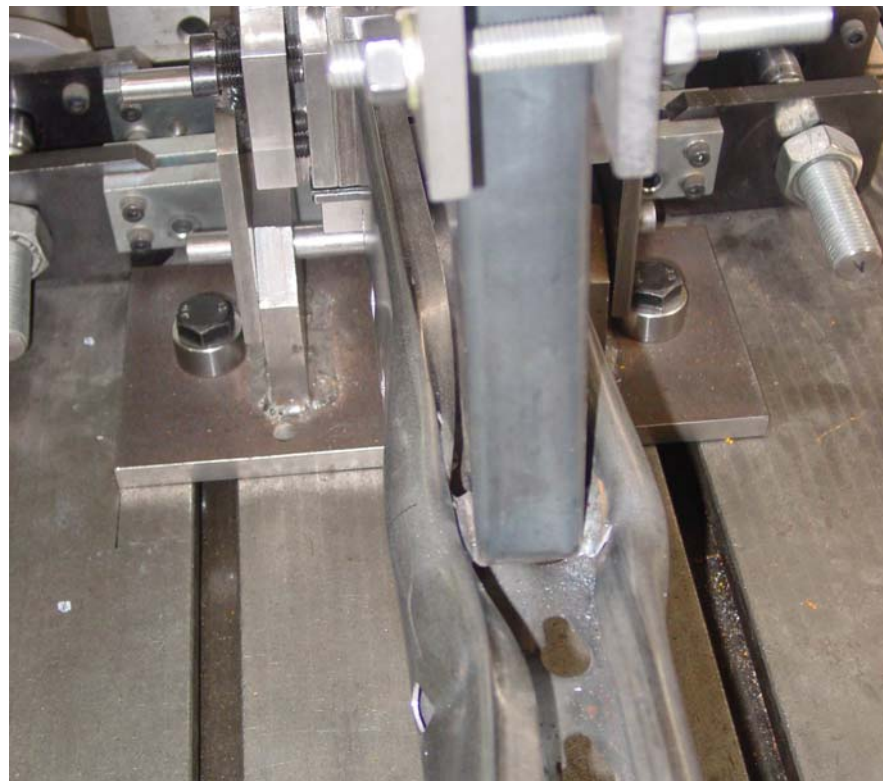
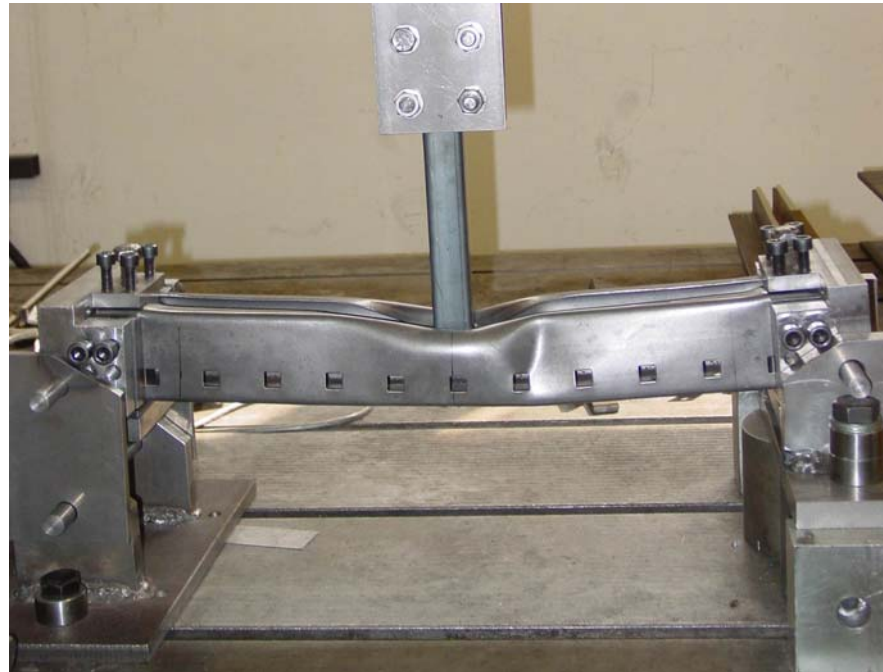
Fot. 5: Disposició ensayo compresión a 90°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 26 DE 43



Fot 6: Guiado diagonal en ensayo compresión a 90°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 27 DE 43



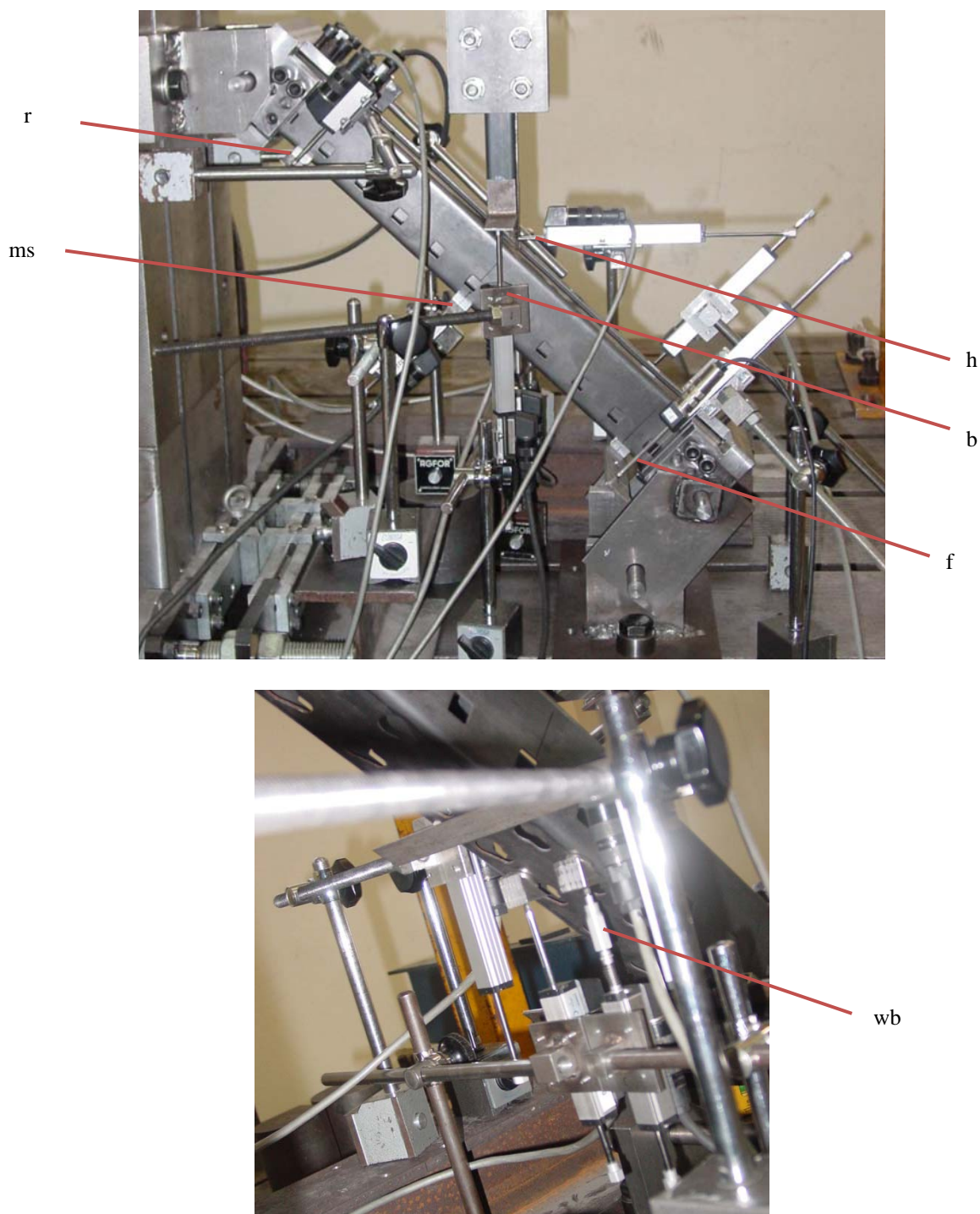
Fot 7 y 8: Fallo por deformación de la diagonal y el puntal.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 28 DE 43



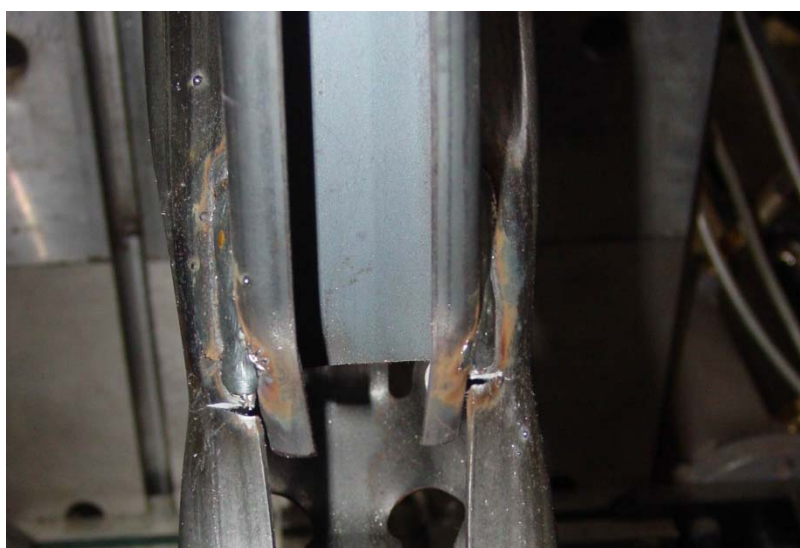
Fot. 9: Disposició ensayo tracció a 45°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 29 DE 43



Fot. 10 y 11: Disposición captadores de desplazamiento ensayo a 45°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 30 DE 43



Fot. 12 y 13: fallo por abolladura del puntal y desgarró de los labios.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 31 DE 43



Fot.14: Disposició ensayo compresió a 45°

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 32 DE 43



Fot.15: Guiado diagonal en ensayo compresión a 45°

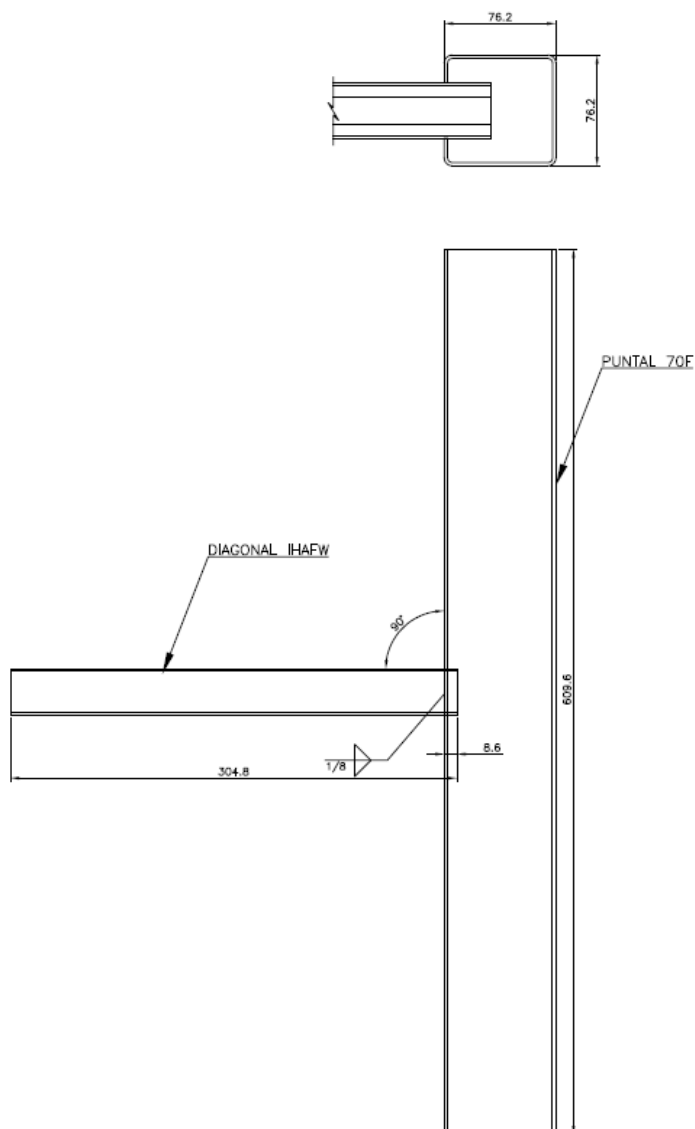
LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 33 DE 43



Fot. 16 y 17: deformación diagonal y labios puntal en unión y abolladura diagonal.

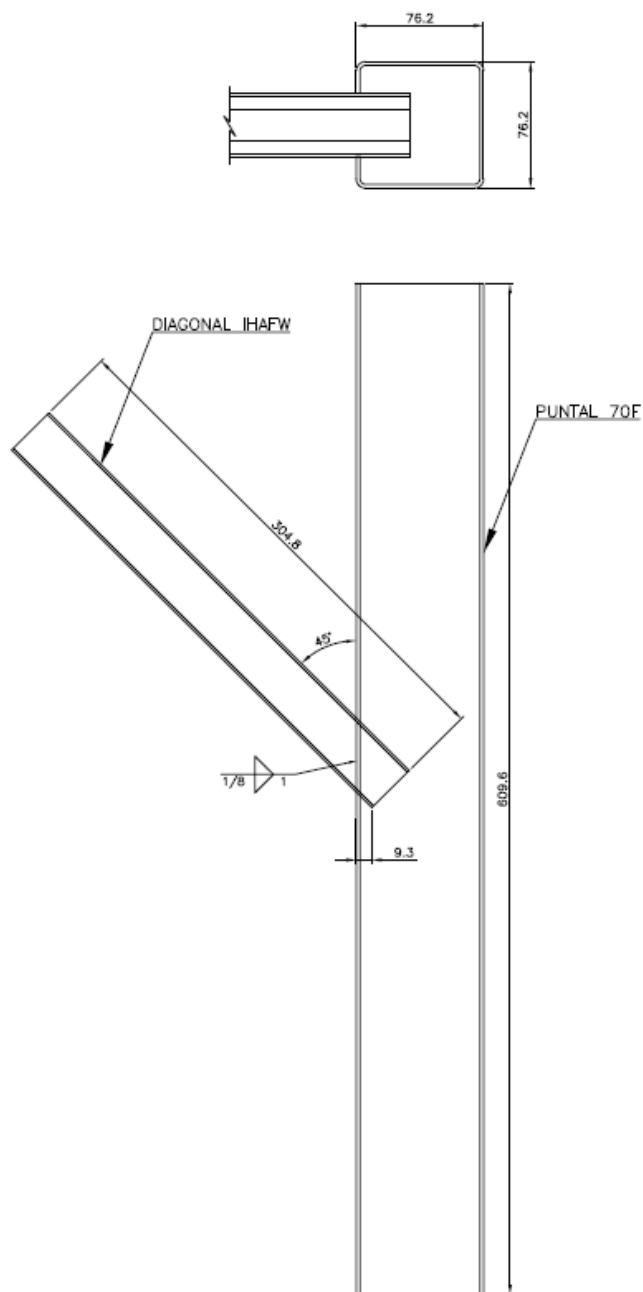
LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 34 DE 43

6.- PLANOS



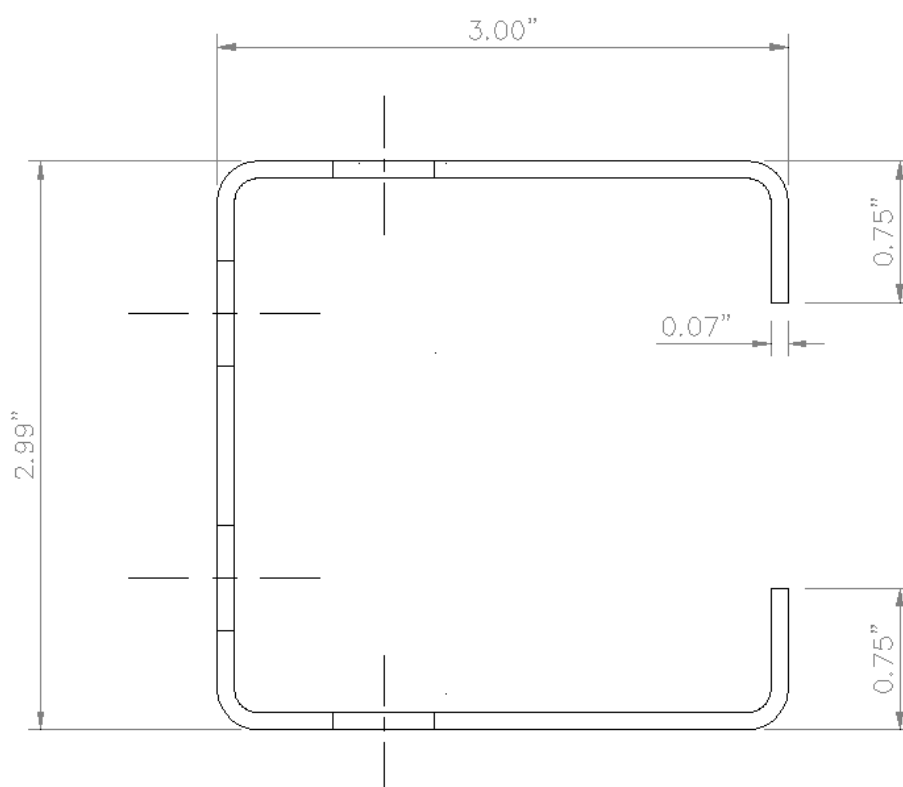
Plano nº1: Diagonal soldada a 90° (cotas en mm)

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 35 DE 43



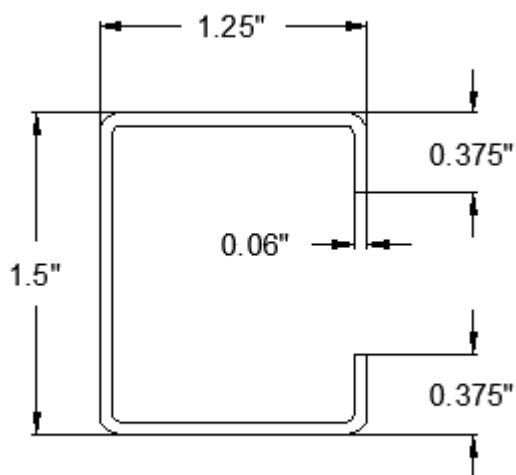
Plano nº2: Diagonal soldada a 45° (cotas en mm)

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 36 DE 43



Plano nº3: Sección puntal

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 37 DE 43



Plano nº4: Sección diagonal

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 38 DE 43

7.- SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS

Se ha realizado también un análisis por elementos finitos de las uniones ensayadas. Para introducir el efecto de la soldadura entre puntal y diagonal en el modelo, se han fijado los nodos a 0.12in de la unión (ver fig. 3 y 4)

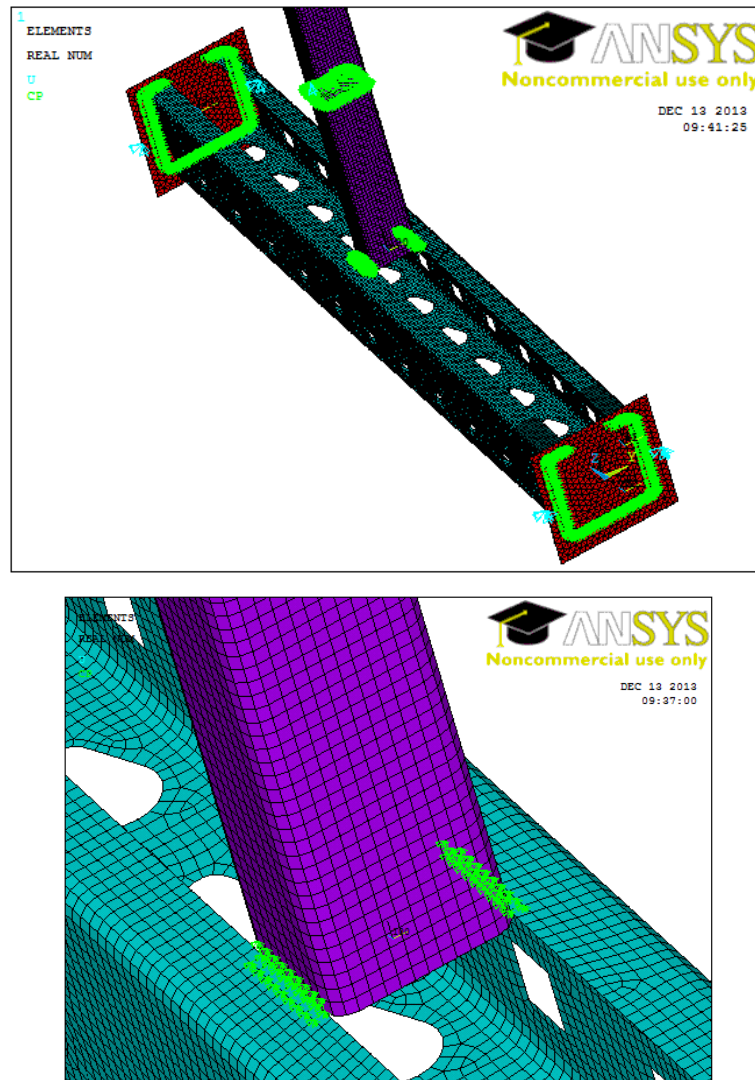


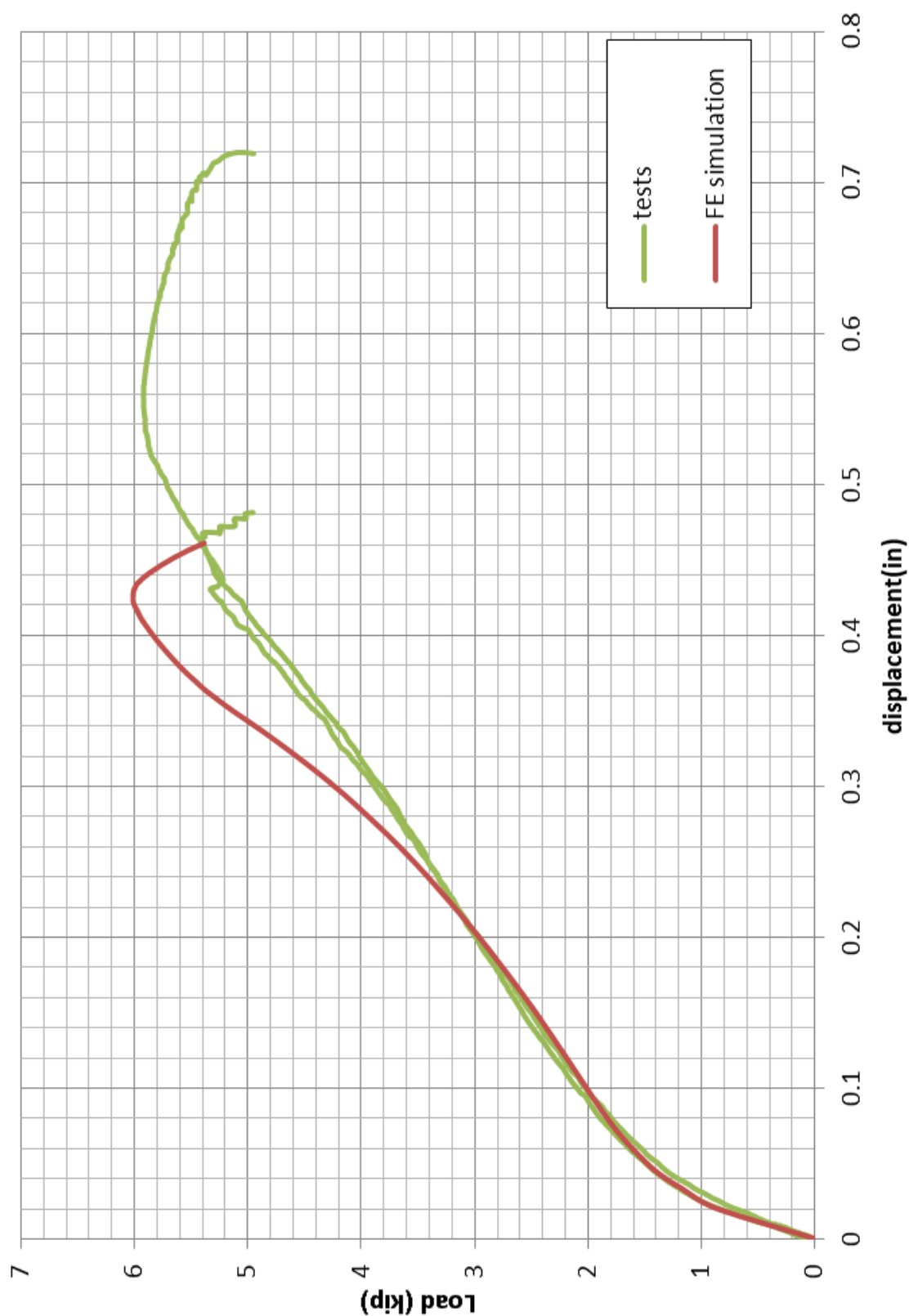
Fig. 3 y 4: nodos sin desplazamiento relativo.

Las gráficas obtenidas se comparan con las de los ensayos. Se observa una buena correlación en la zona elástica.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 39 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

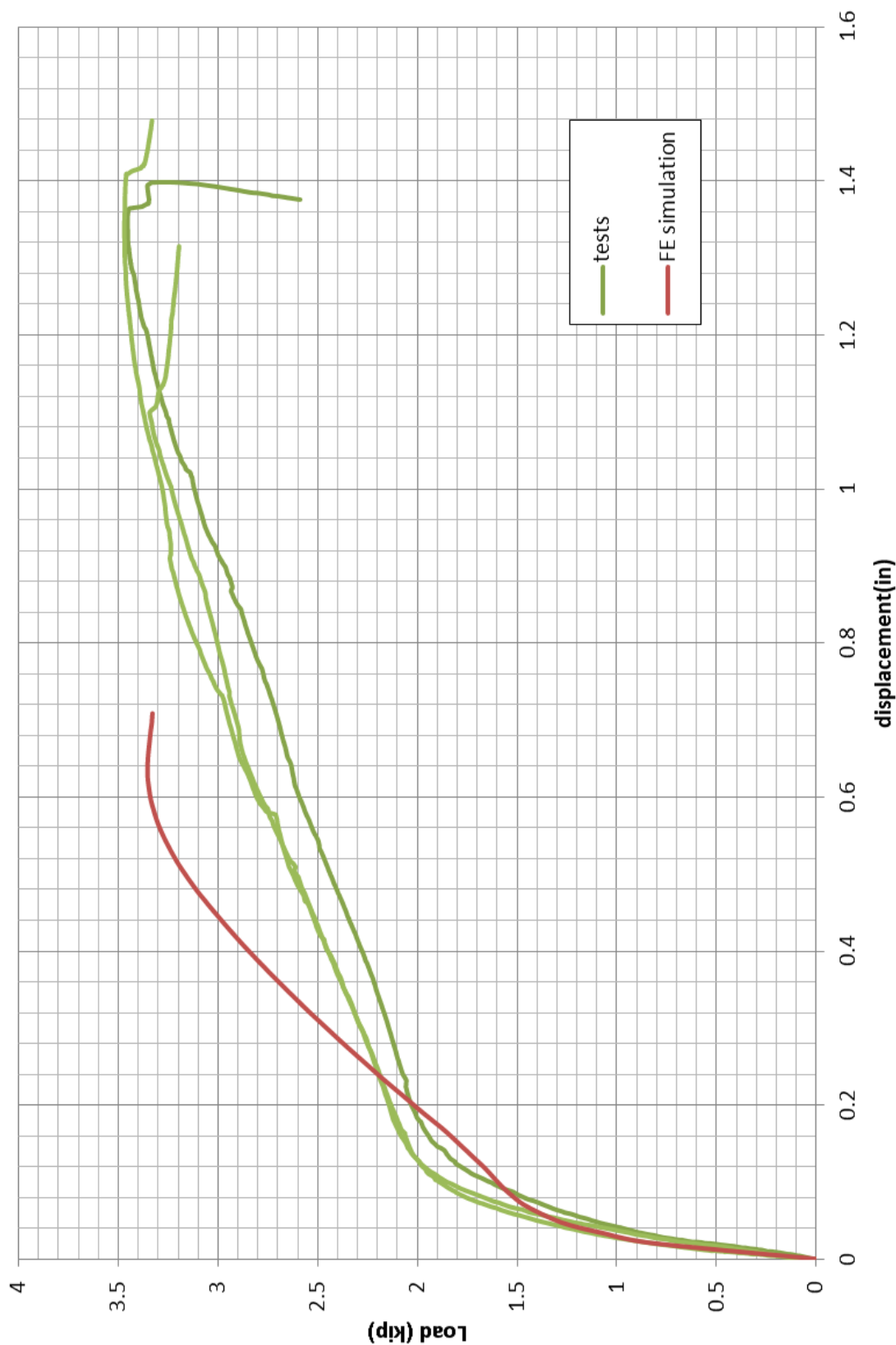
0.07inch-horizontal brace in tension



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 40 DE 43

DATA 27 de setembre de 2013

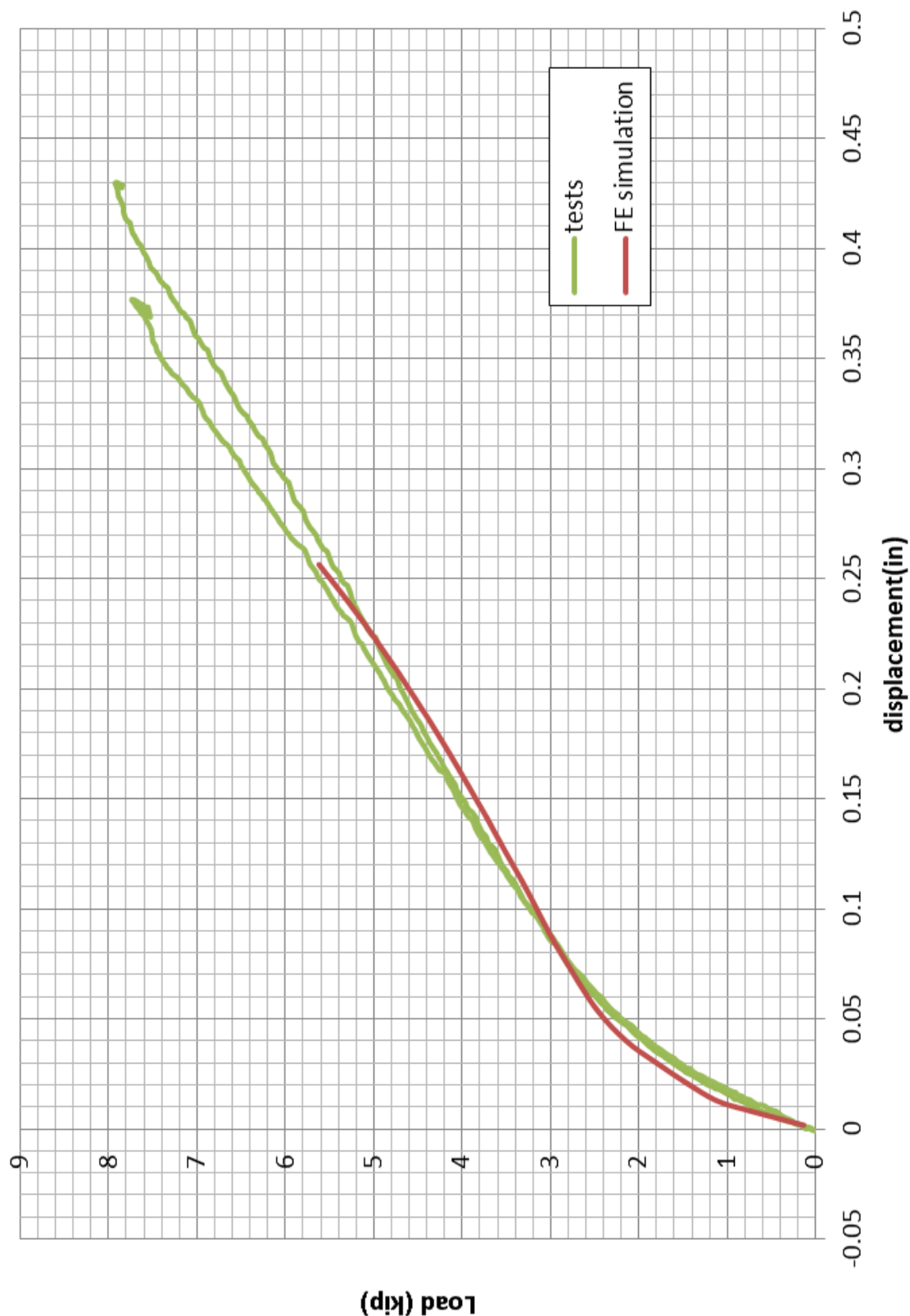
0.07 in-horizontal brace in compression



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 41 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

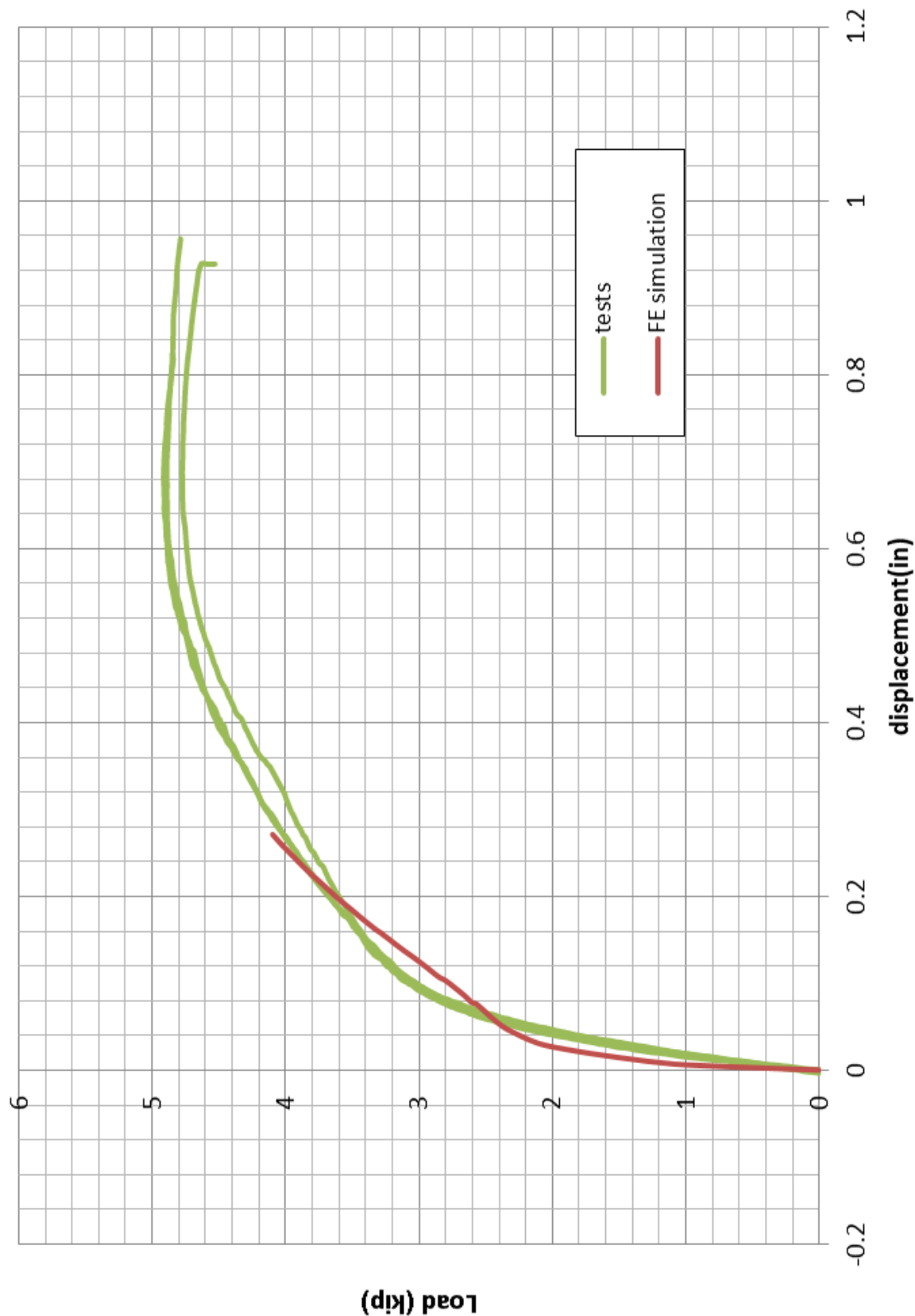
0.07inch-diagonal brace in tension.



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 42 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

0.07inch-diagonal brace in compression.



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 43 DE 43

DATA 27 de septiembre de 2013

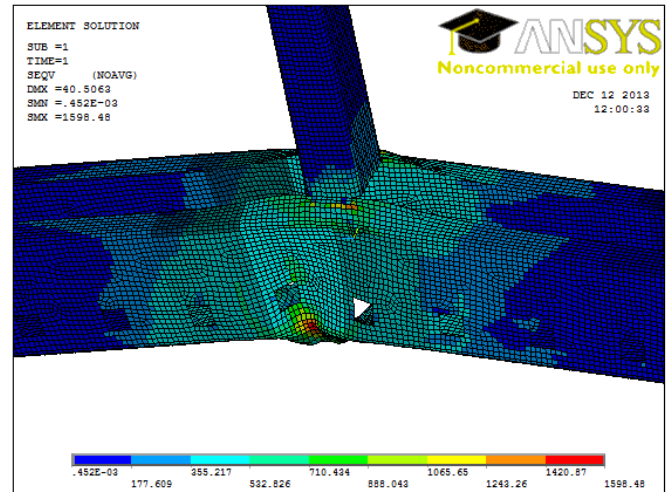


Fig. 5: unión a 90° traccionada. Comparativa ensayo-simulación FE

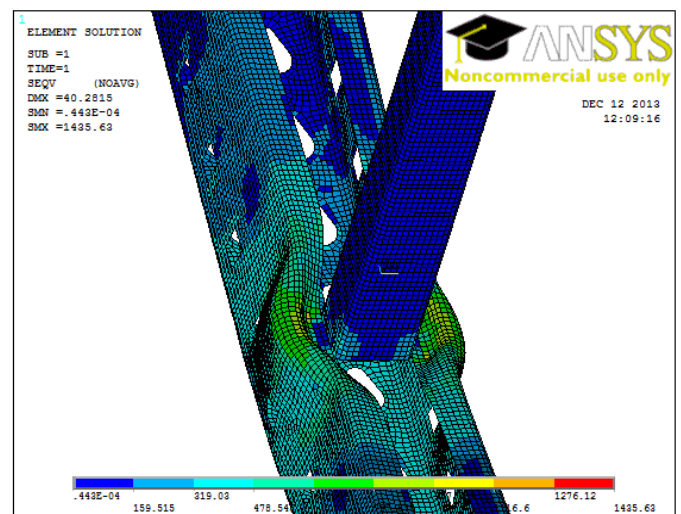
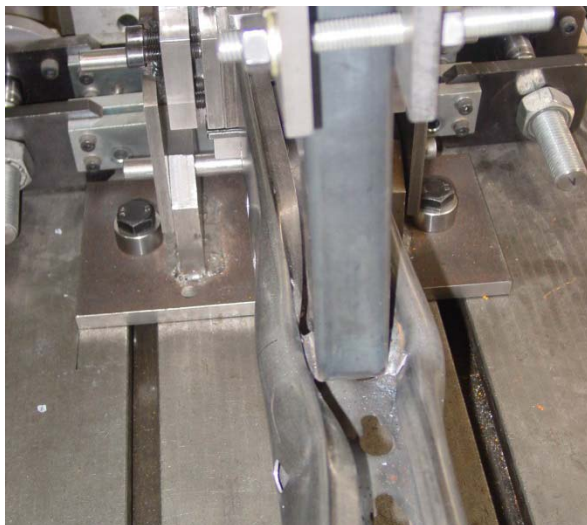


Fig. 6: unión a 90° comprimida. Comparativa ensayo-simulación FE

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/1
		PÀG. 44 DE 43
DATA	27 de septiembre de 2013	

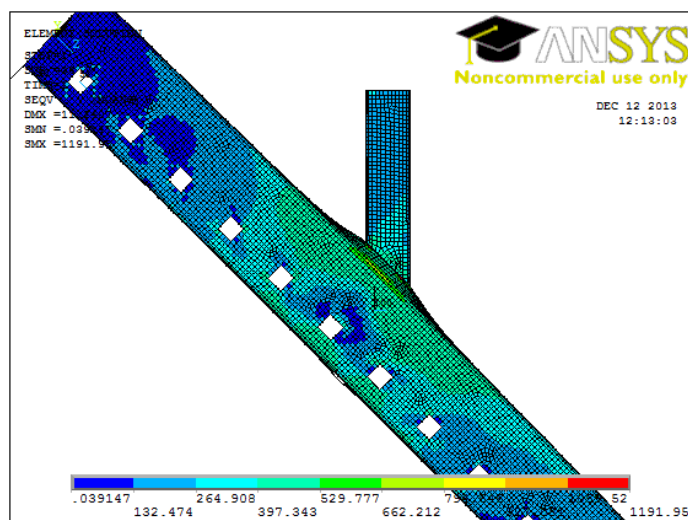
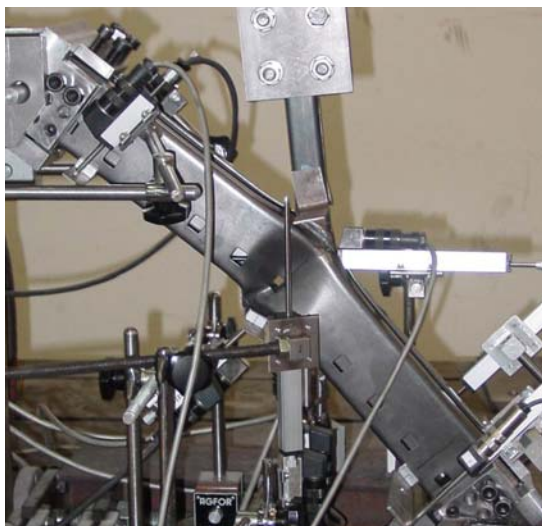


Fig. 7: unió a 45° traccionada. Comparativa ensayo-simulació FE.

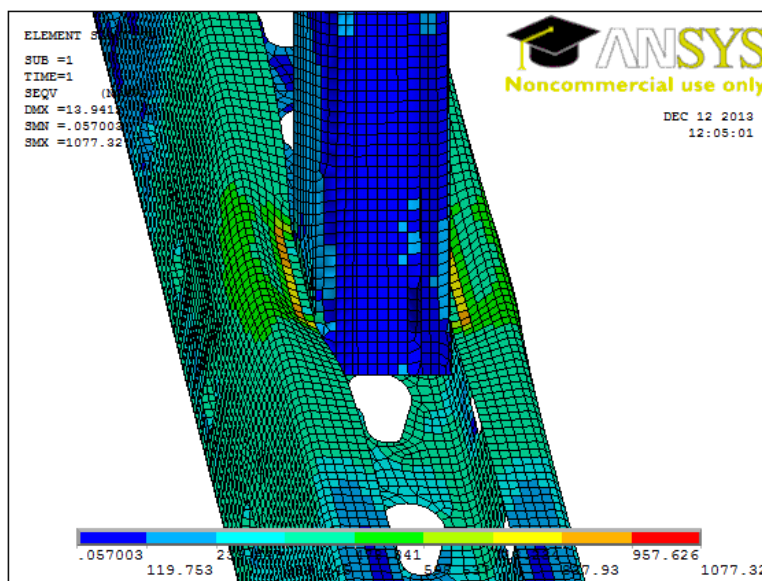


Fig. 8: unió a 45° comprimida. Comparativa ensayo-simulació FE.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 4 DE 44

2.2.- METODO

El objetivo del ensayo es medir la rigidez de la unión entre el puntal y la diagonal a tracción y a compresión.

Los ensayos se han realizado entre el 18/6/13 y el 18/9/13.

A continuación se enumeran las principales características de este ensayo:

Montaje: (ver fig. 1)

- En los extremos del puntal se montan dos bases que alojan un eje situado en el centro de gravedad de la sección del puntal. La distancia entre ejes de las bases montadas sobre el puntal es de 24in.
- El puntal con las bases se monta en un extremo sobre un apoyo fijo y en el otro extremo sobre un apoyo móvil.
- El puntal se monta horizontal (cuando la diagonal viene soldada formando 90° con el puntal) o a 45° (cuando la diagonal viene soldada formando 45° con el puntal) de manera que la diagonal quede vertical.
- La carga se aplica mediante un cilindro hidráulico a la diagonal a través de una rótula esférica.
- En los ensayos de tracción el cilindro está articulado en los dos extremos.
- En los ensayos de compresión la base del cilindro está fija y la diagonal está guiada quedando libre únicamente el desplazamiento vertical.
- En los ensayos de compresión la diagonal se guía en el plano horizontal de manera que solo tiene libre el desplazamiento vertical. El guiado se sitúa a unos 50mm (2in) de los labios del puntal.
- Se mide el desplazamiento sobre el alma del puntal en la dirección perpendicular del mismo, en la sección central y en una sección, a 225mm (8.86in) a cada lado de la sección central. Se mide también el desplazamiento vertical de la diagonal, y para la disposición a 45° se mide el desplazamiento del alma del puntal en la proyección vertical de la diagonal.

Instrumentación:

- La fuerza se mide mediante un captador de fuerza extensométrico de capacidad 50kN (11.24kip), y linealidad mejor que el 1%.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 5 DE 44

- El desplazamiento en los apoyos, sección central y diagonal se mide mediante dos captadores de desplazamiento de linealidad mejor que el 1%.
- Las señales de todos los captadores se tratan y se introducen mediante una tarjeta conversora en la memoria de un ordenador.

Operativa:

- Se toma el cero de los captadores.
- Se inicia el registro de las señales procedentes de los captadores.
- Se aumenta la fuerza hasta provocar el fallo de la unión.

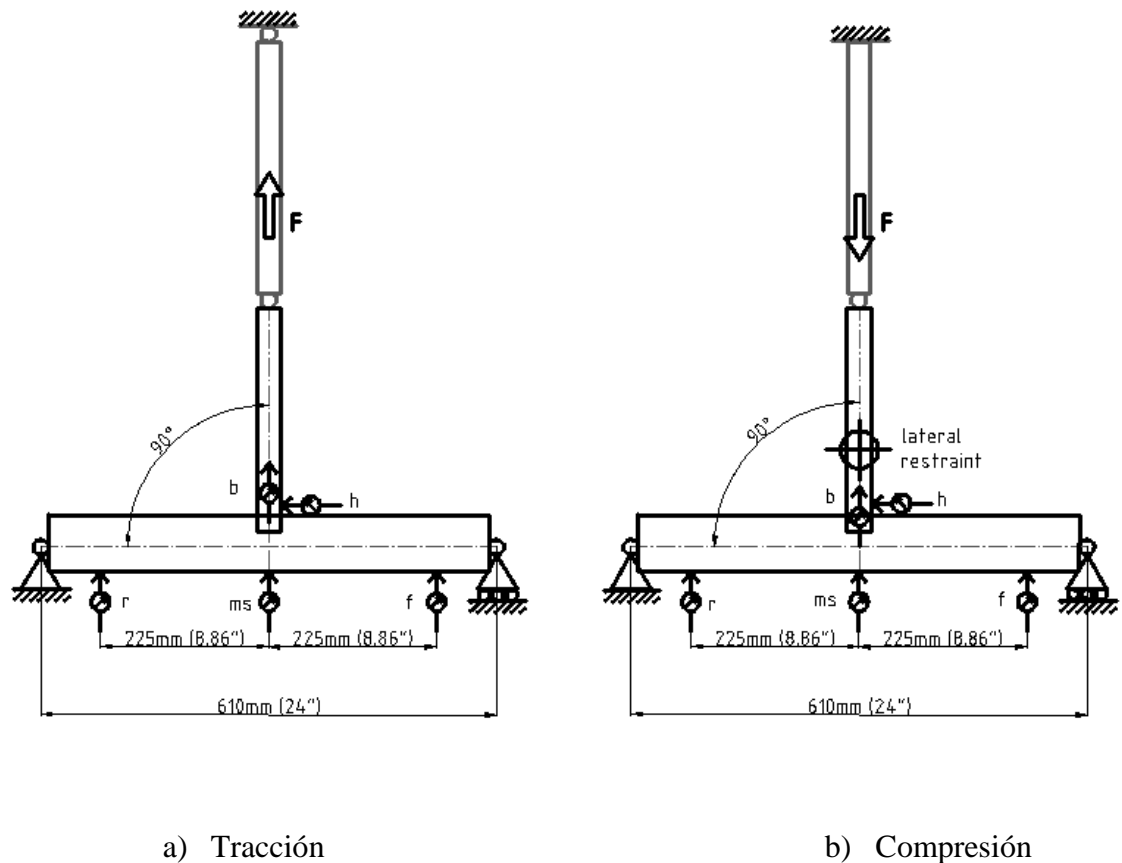
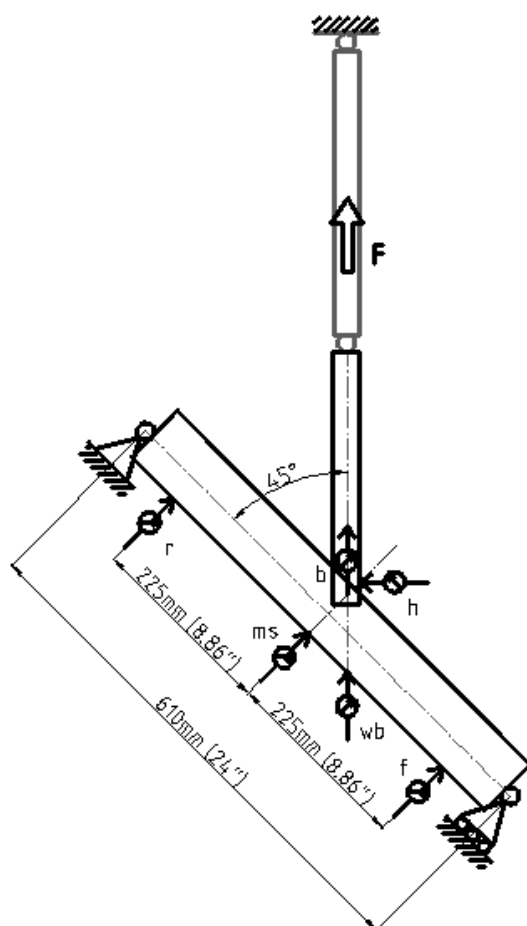


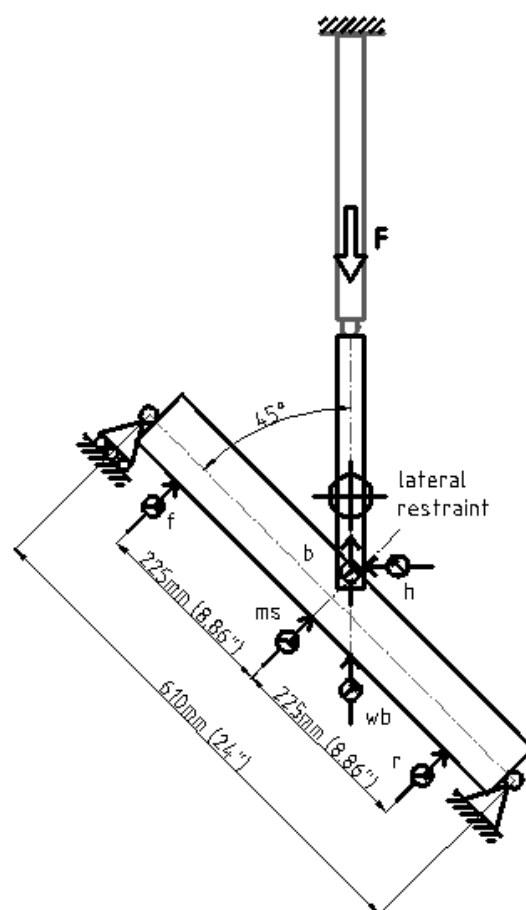
Figura 1: Disposición experimental del ensayo a 90°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 6 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013



b) Tracción



b) Compresión

Figura 2: Disposición experimental del ensayo a 45°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de setembre de 2013		PÀG. 7 DE 44

3.- RESULTADOS

A partir de los datos experimentales, se calcula la rigidez de la unión diagonal-puntal para las diferentes disposiciones de ensayo. Con estos valores se obtienen los gráficos F-d que se incluyen en el apartado 4.

$$\text{midspan} = \text{ms} - (\text{f} + \text{r}) / 2$$

$$\text{spring} = \text{b} - \text{ms} \quad (\text{para uniones a } 90^\circ)$$

$$\text{spring} = \text{b} - \text{wb} \quad (\text{para uniones a } 45^\circ)$$

$$\text{horiz disp} = h$$

siendo: (ver fig. 1 y 2)

- ms la media de las lecturas de los captadores situados sobre el alma del puntal, en la sección media.
- wb la media de las lecturas de los captadores situados sobre el alma del puntal, en la dirección de la fuerza (para uniones a 45°)
- f la media de las lecturas situadas en el apoyo con rótula deslizando sobre el alma del puntal, a 225mm de la sección media.
- r la media de las lecturas situadas en el apoyo con rótula fija sobre el alma del puntal, a 225mm de la sección media.
- h la media de las lecturas de los captadores situados sobre la diagonal, en la dirección de la fuerza.
- h la lectura del captador situado sobre la diagonal, perpendicular a la fuerza

3.1 COMPORTAMIENTO DE LA UNION

En el ensayo con la diagonal a 90° a tracción, el fallo se produce por rotura de la diagonal o desgarro del labio del puntal en ambos casos con una gran deformación de los labios del puntal.

En el ensayo con la diagonal a 90° a compresión, el fallo es debido una gran deformación de la diagonal y de los labios del puntal.

En el ensayo con la diagonal a 45° a tracción, el fallo es debido a la rotura de la diagonal.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 8 DE 44

En el ensayo con la diagonal a 45° a compresión, el fallo es debido a la abolladura de la diagonal con una gran deformación de los labios del puntal y de la diagonal en la zona de la unión.

3.2 FUERZA MÁXIMA APLICADA Y RIGIDEZ DE LA UNIÓN

Los resultados se resumen en las tablas siguientes.

0.105in column - horizontal brace in tension				
test	1	2	3	mean
F _{max} (kip)	6.13	8.74	8.78	7.88
midspan (in)	0.044	0.082	0.089	0.072
horizontal (in)	0.025	0.058	0.076	0.053
F _{stiff} (kip)	3			3
stiffness (kip/in)	82.37	90.92	79.74	84.34
midspan (in)	0.019	0.019	0.020	0.019
horizontal (in)	0.015	0.020	0.029	0.022

0.105in column - horizontal brace in compression				
test	1	2	3	mean
F _{max} (kip)	4.57	5.02	4.88	4.82
midspan (in)	0.109	0.000	0.000	0.036
horizontal (in)	0.034	0.000	0.000	0.011
F _{stiff} (kip)	3.25			3.25
stiffness (kip/in)	45.32	57.14	51.24	51.23
midspan (in)	0.016	0.016	0.018	0.017
horizontal (in)	0.017	0.011	0.003	0.010

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de setembre de 2013		PÀG. 9 DE 44

0.105in column - diagonal brace in tension				
test	1	2	3	mean
F_{\max} (kip)	11.14	11.29	11.23	11.22
midspan (in)	0.110	0.134	0.099	0.114
horizontal (in)	0.289	0.370	0.321	0.327
F_{stiff} (kip)	4.5			4.5
stiffness (kip/in)	128.63	114.46	104.84	115.98
midspan (in)	0.019	0.019	0.018	0.019
horizontal (in)	0.003	0.004	0.004	0.003

0.105in column - diagonal brace in compression				
test	1	2	3	mean
F_{\max} (kip)	6.24	6.26	6.14	6.21
midspan (in)	0.056	0.058	0.070	0.061
horizontal (in)	0.287	0.011	0.572	0.290
F_{stiff} (kip)	4.75			4.75
stiffness (kip/in)	80.64	85.34	87.38	84.45
midspan (in)	0.019	0.019	0.021	0.019
horizontal (in)	0.043	0.037	0.059	0.046

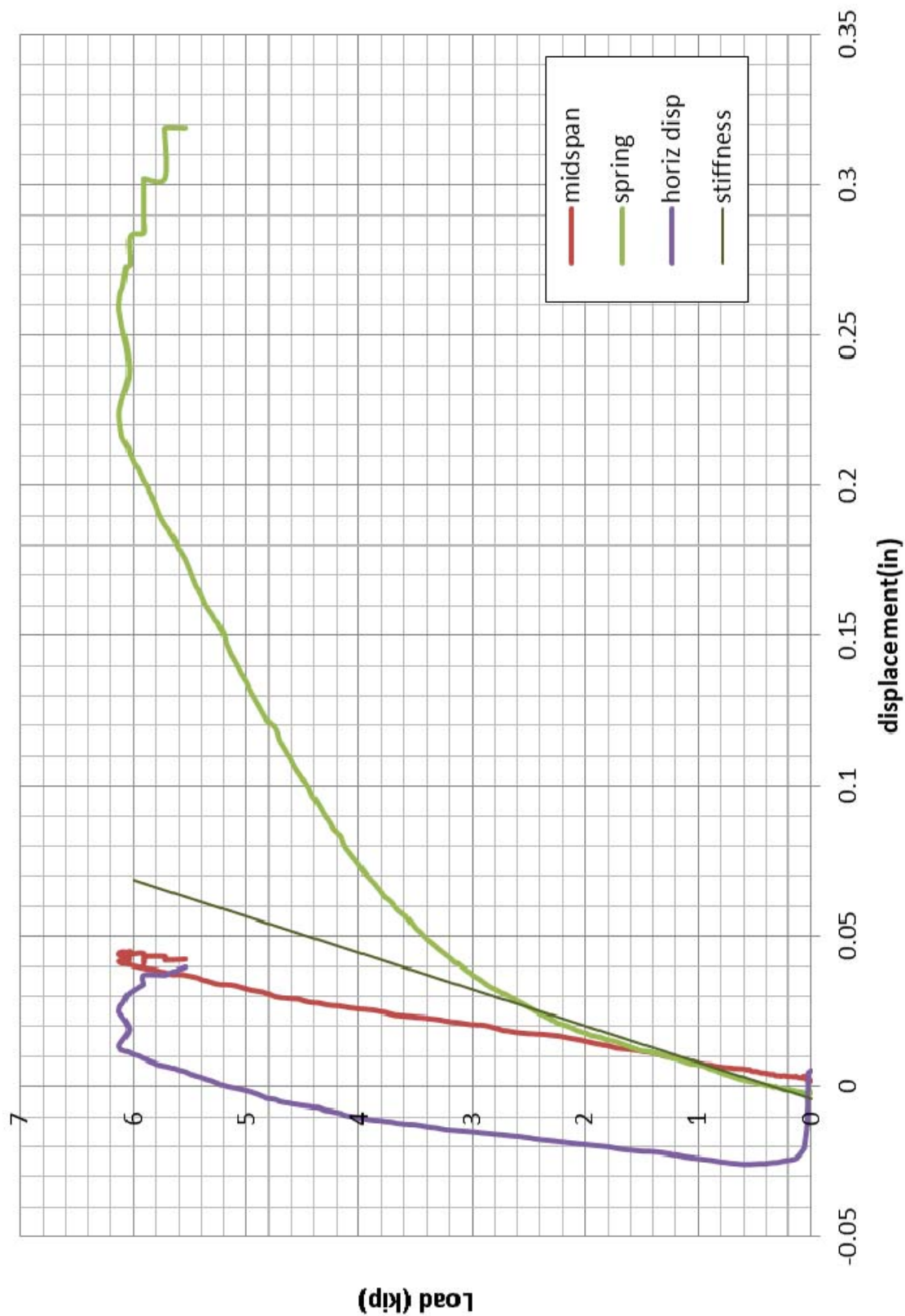
LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 10 DE 44

4.- GRÁFICOS

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 11 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013

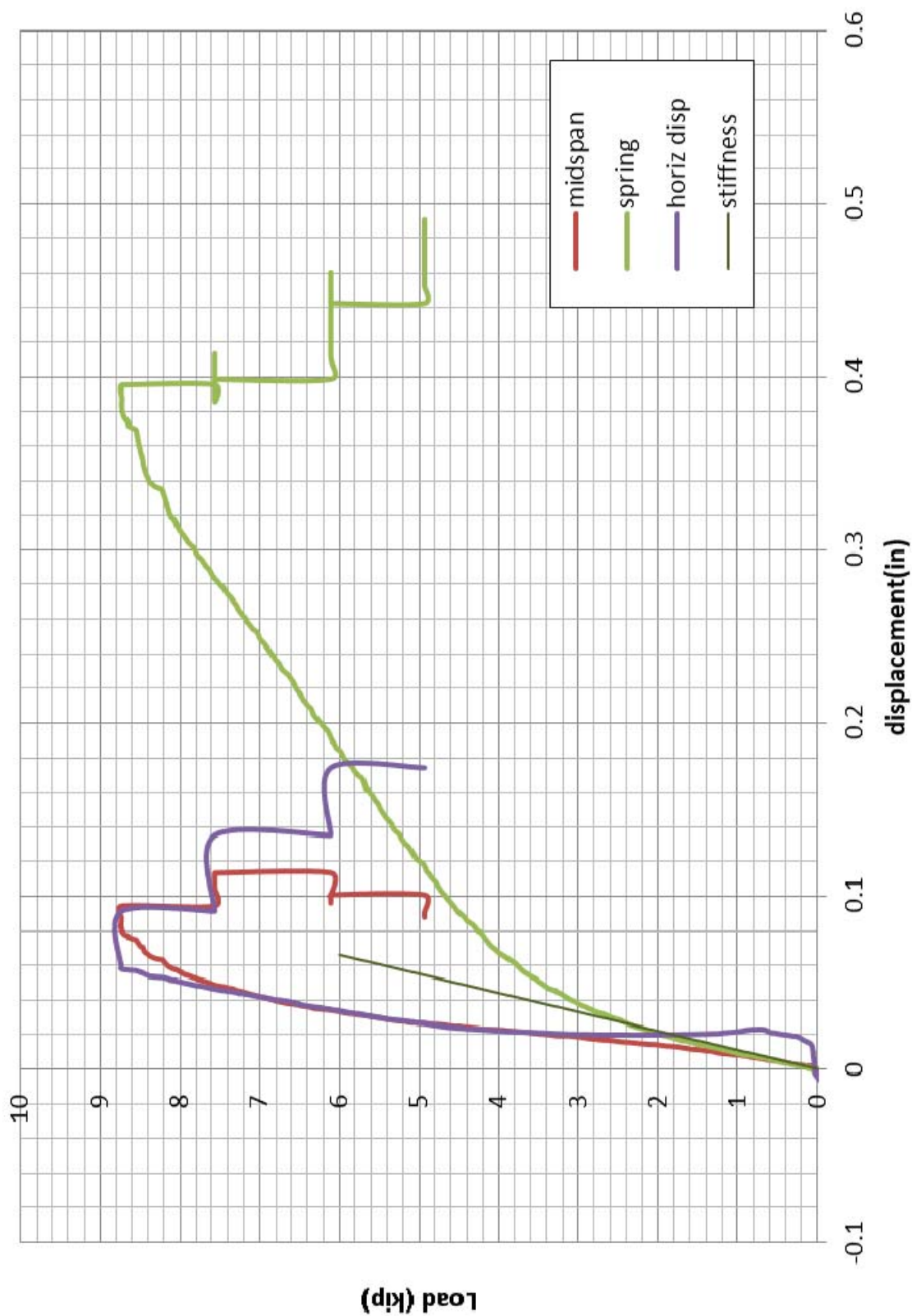
0.105 in-horizontal brace in tension



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 12 DE 44

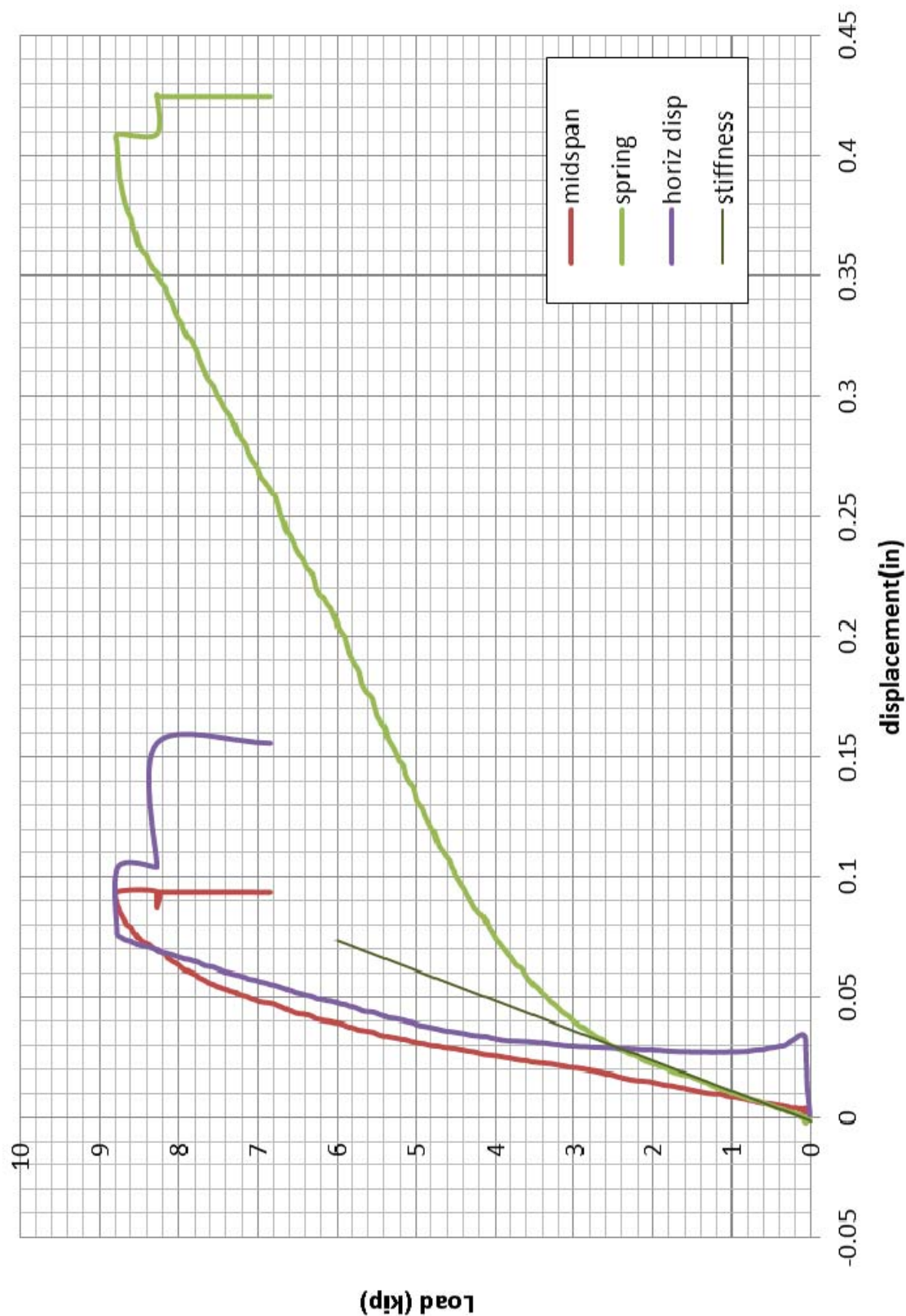
DATA 27 de septiembre de 2013

0.105 in-horizontal brace in tension. Test n°2



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 13 DE 44
DATA	27 de septiembre de 2013	

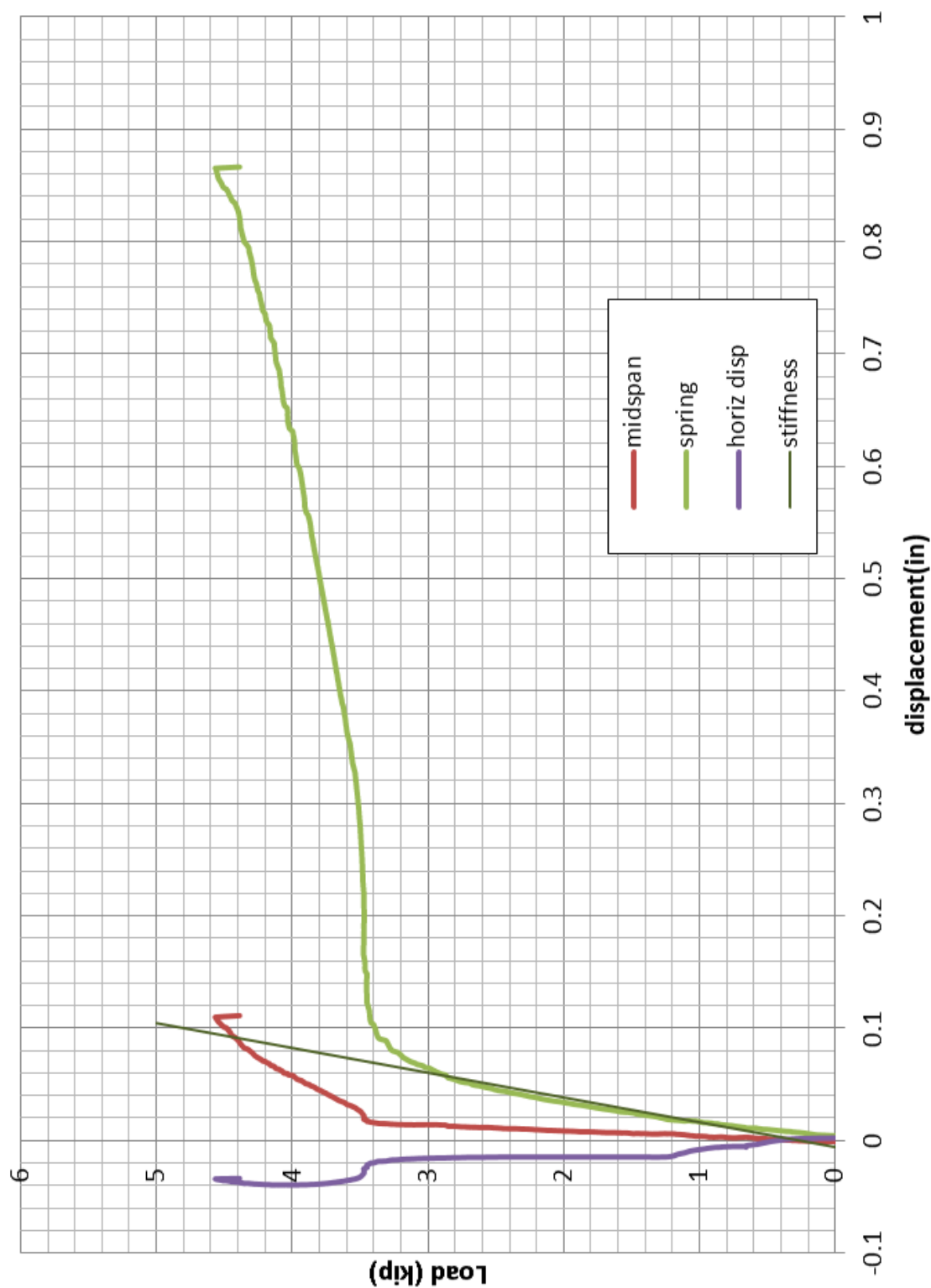
0.105 in-horizontal brace in tension. Test n°3



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 14 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013

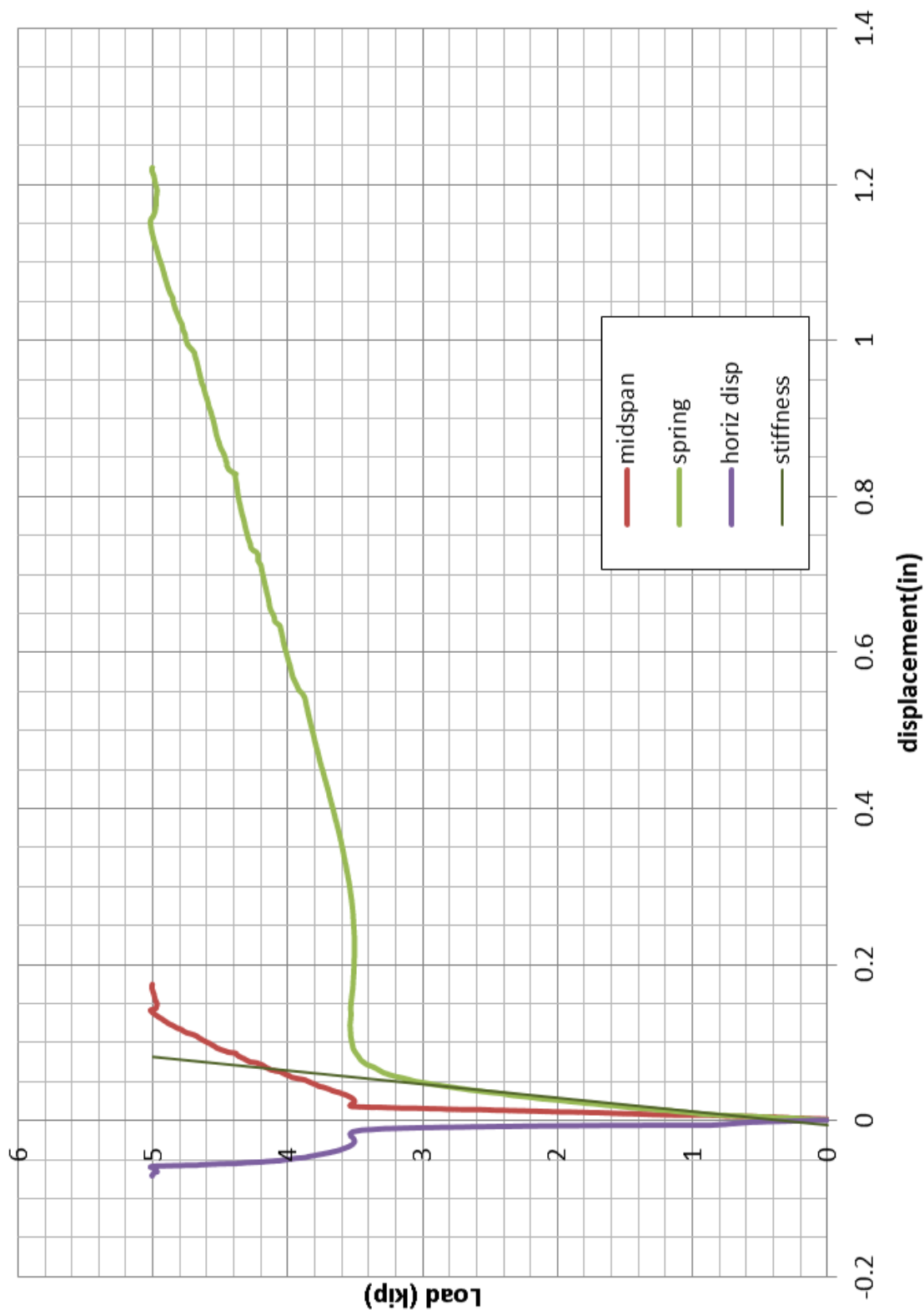
0.105 in-horizontal brace in compression. Test nº1



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 15 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013

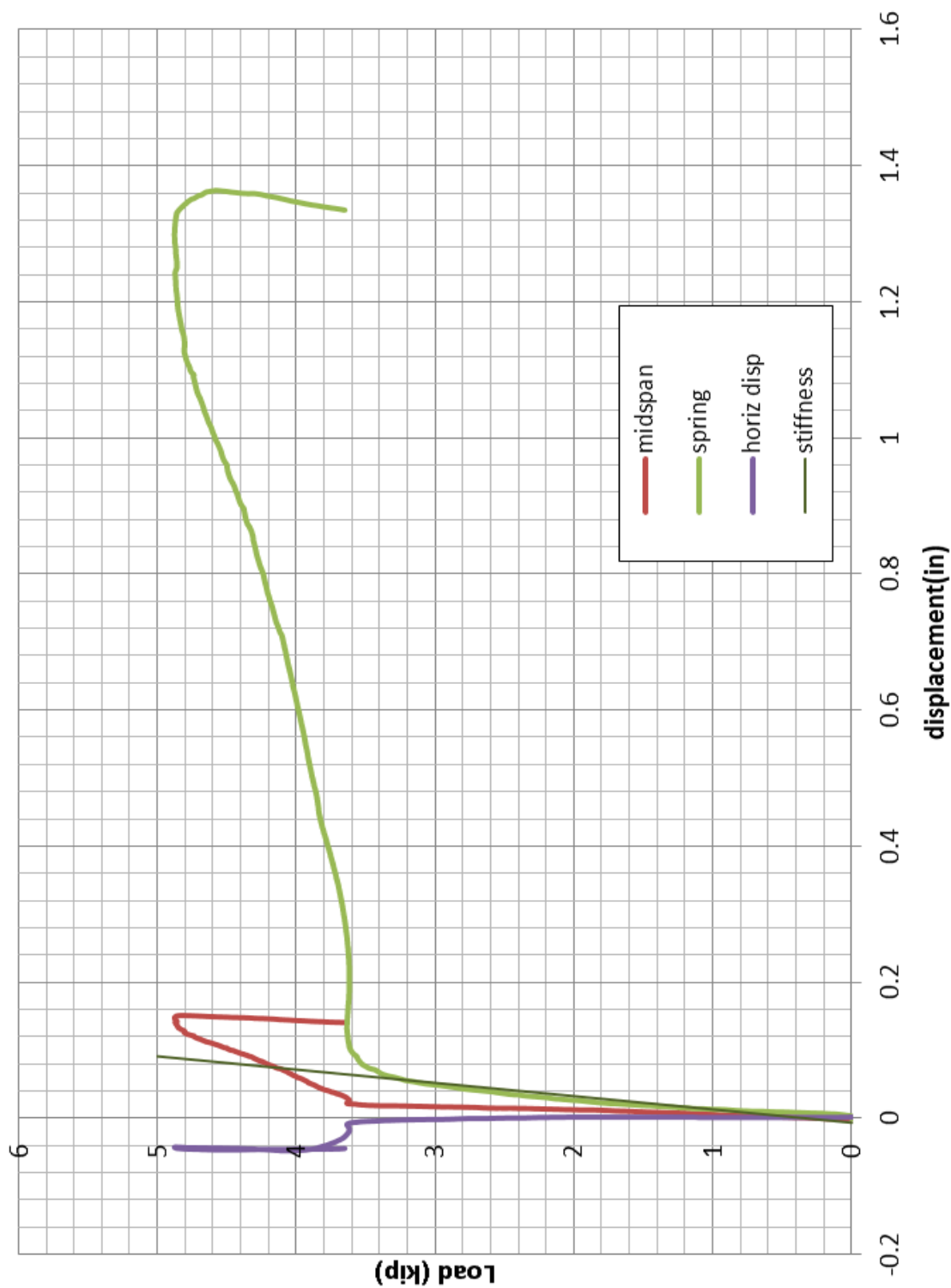
0.105 in-horizontal brace in compression. Test nº2



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 16 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013

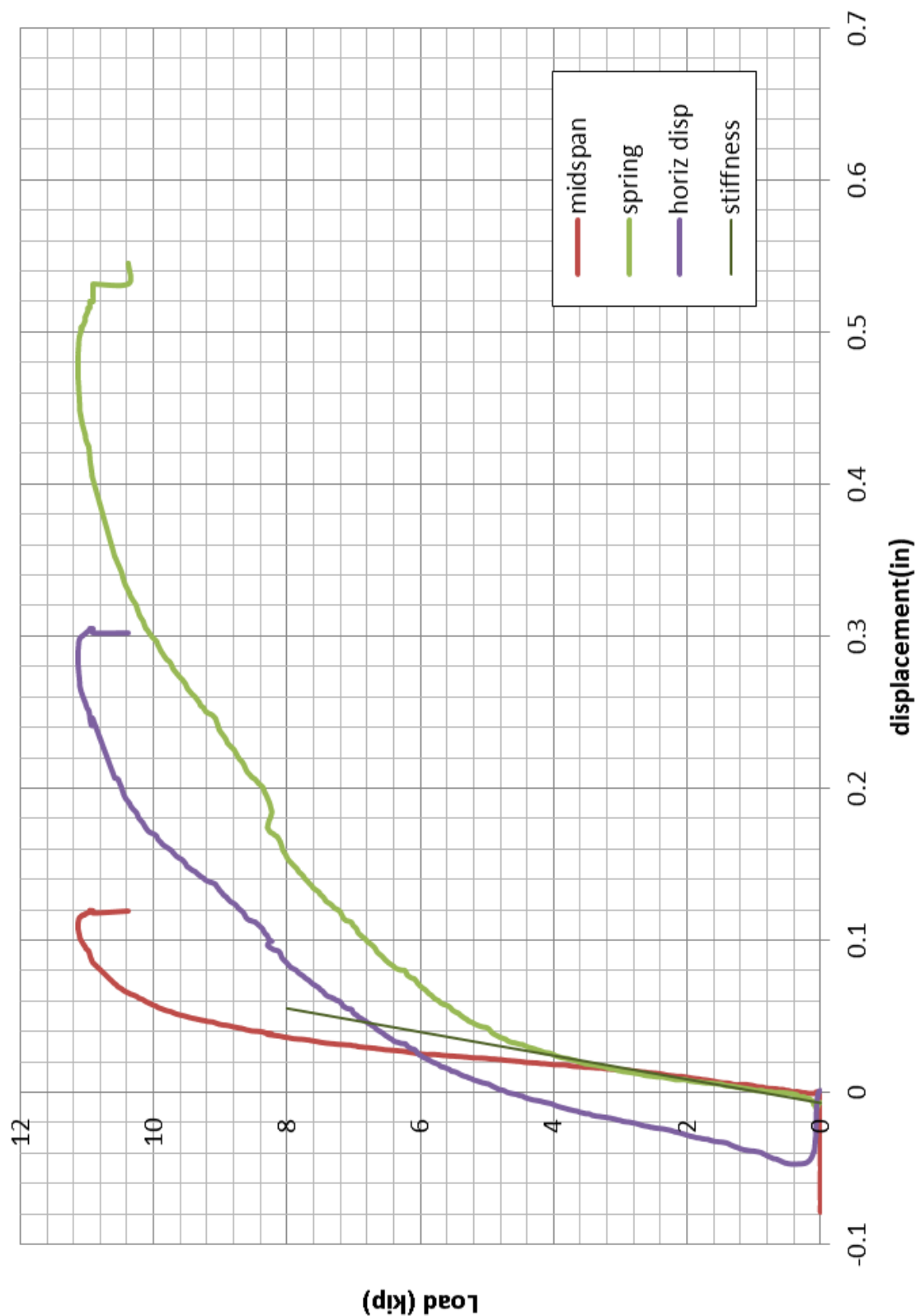
0.105 in-horizontal brace in compresion. Test nº3



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 17 DE 44

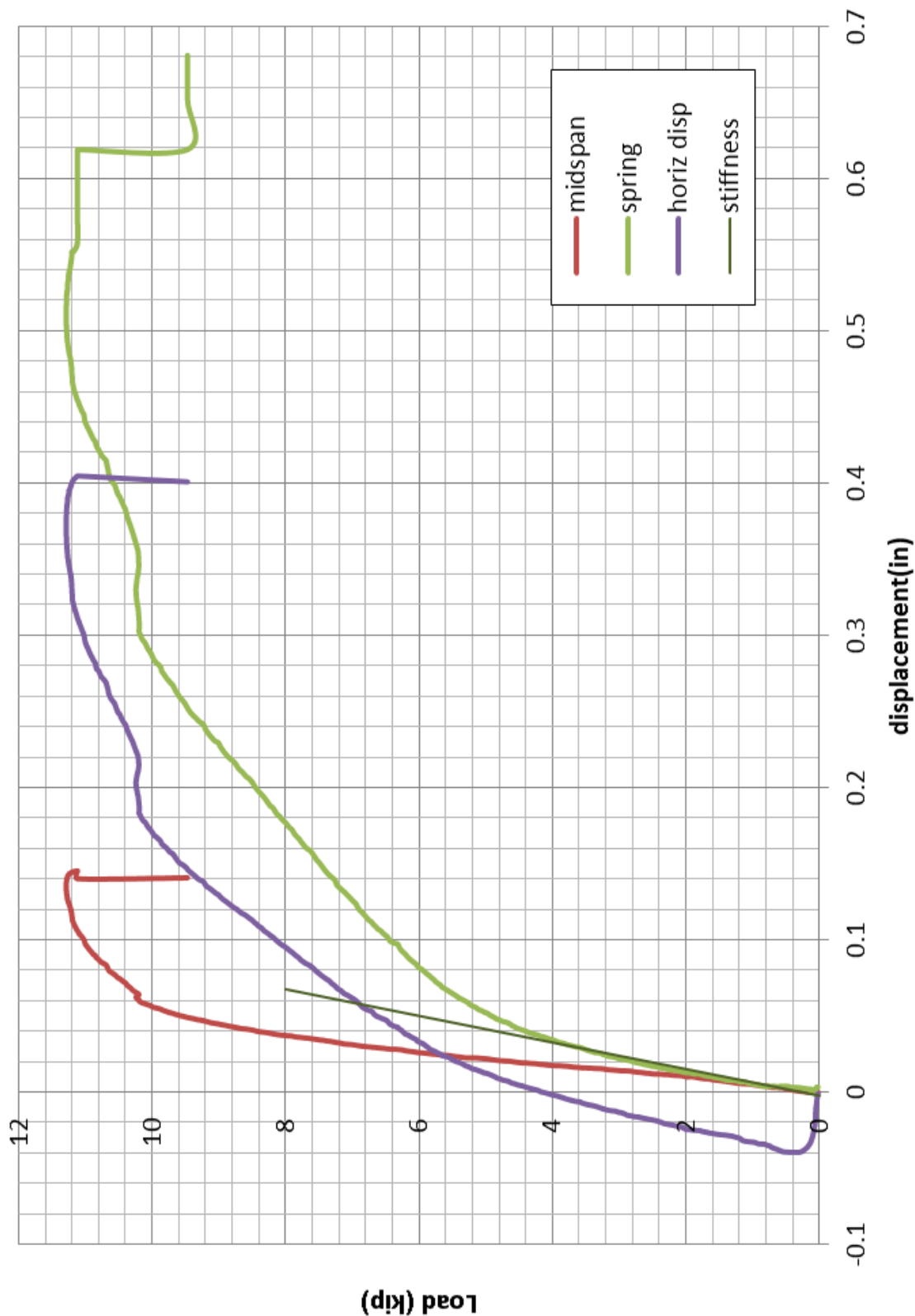
DATA 27 de septiembre de 2013

0.105inch-diagonal brace in tension. Test nº 1



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 18 DE 44
DATA 27 de septiembre de 2013		

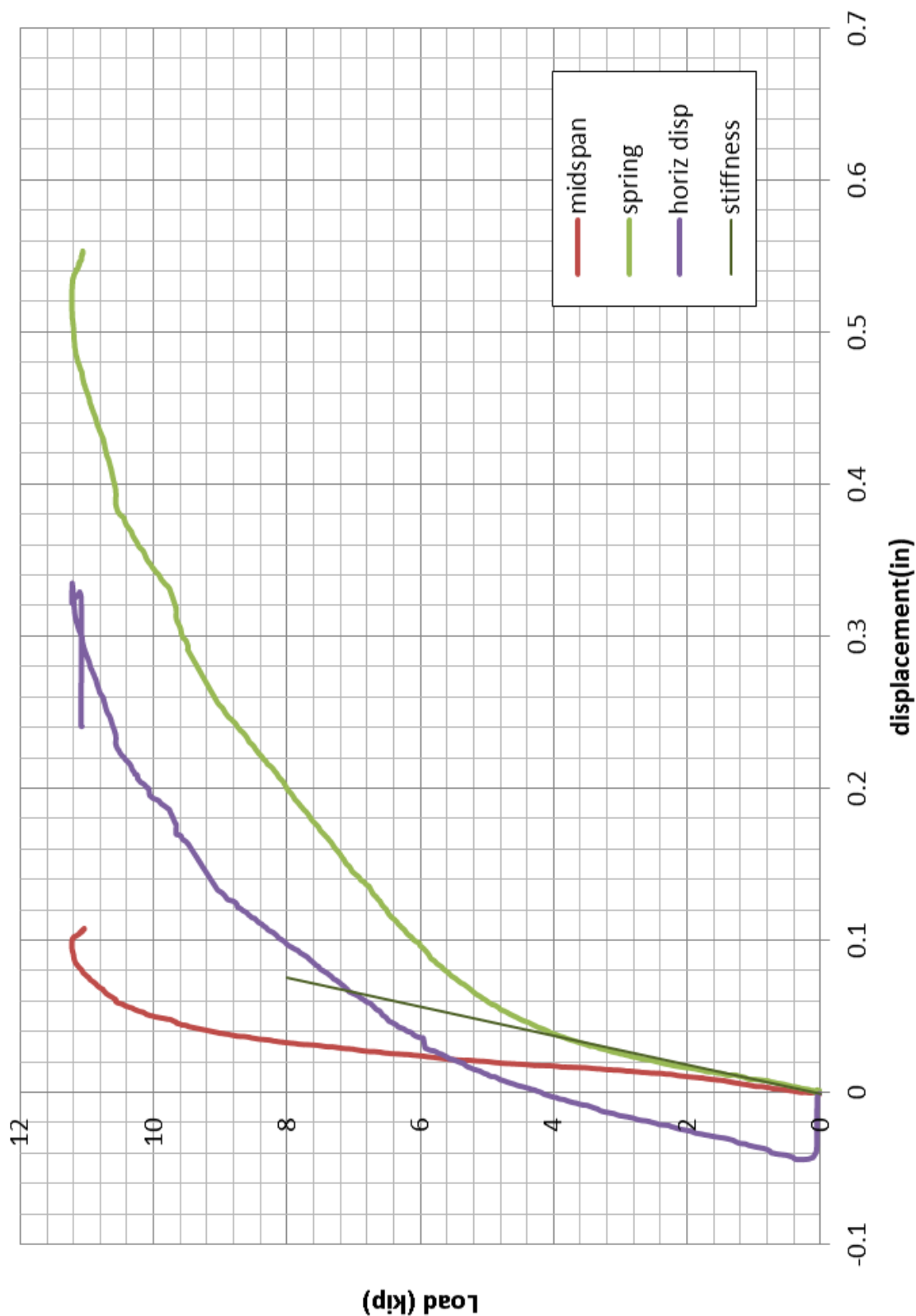
0.105inch-diagonal brace in tension. Test nº 2



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 19 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013

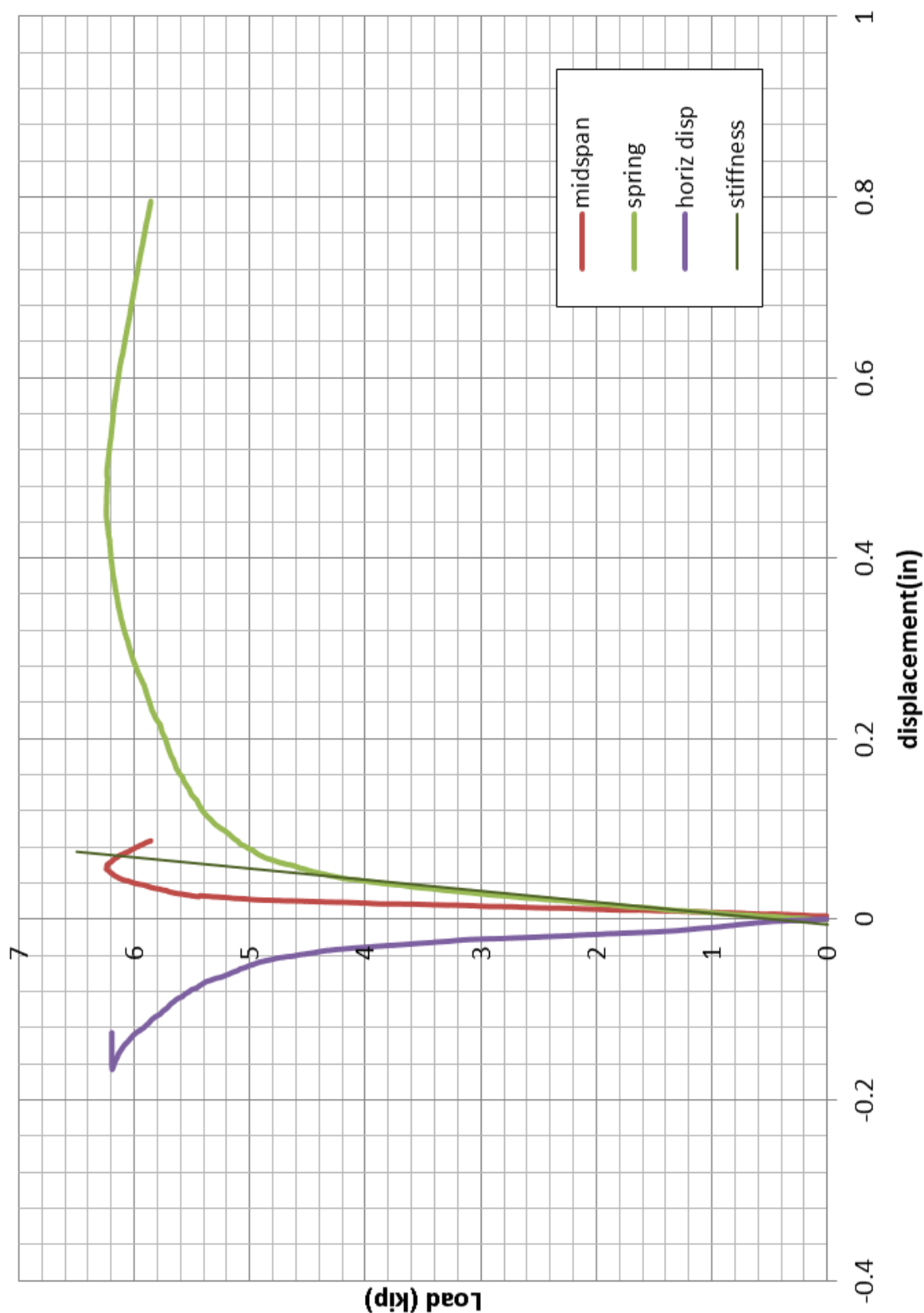
0.105inch-diagonal brace in tension. Test nº 3



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 20 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013

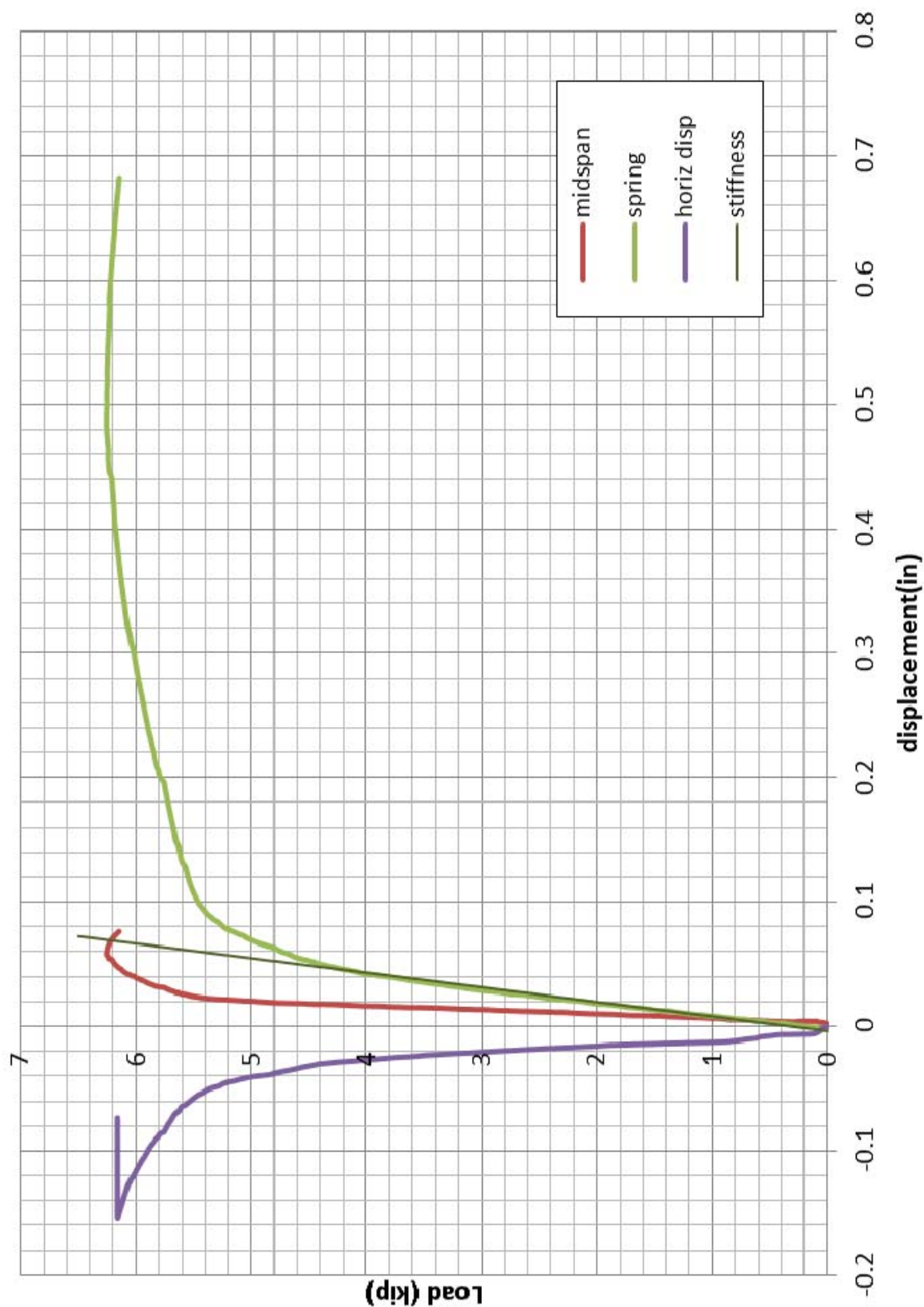
0.105inch-diagonal brace in compression. Test nº 1



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 21 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013

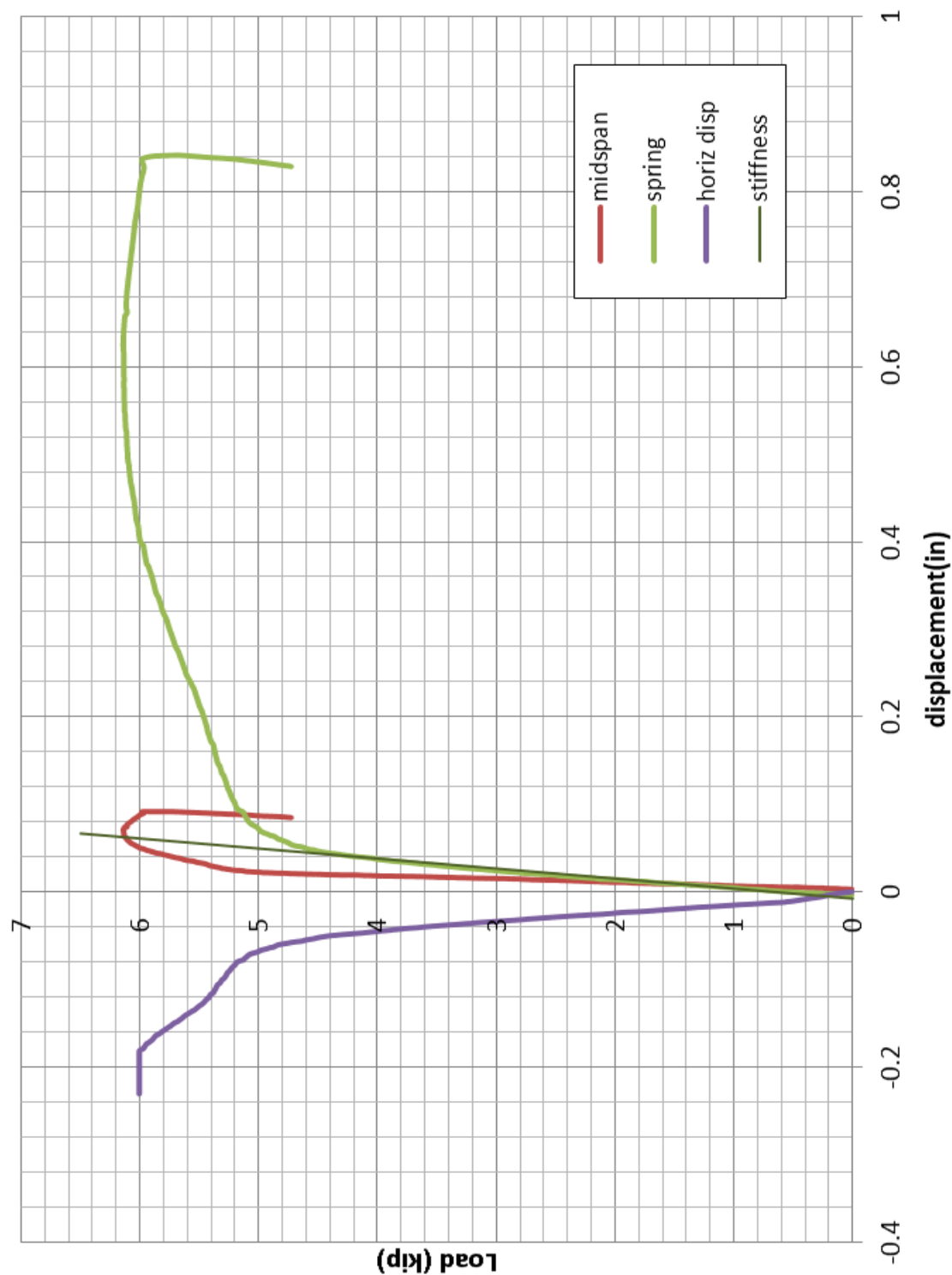
0.105inch-diagonal brace in compression. Test nº 2



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 22 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013

0.105inch-diagonal brace in compression. Test nº 3



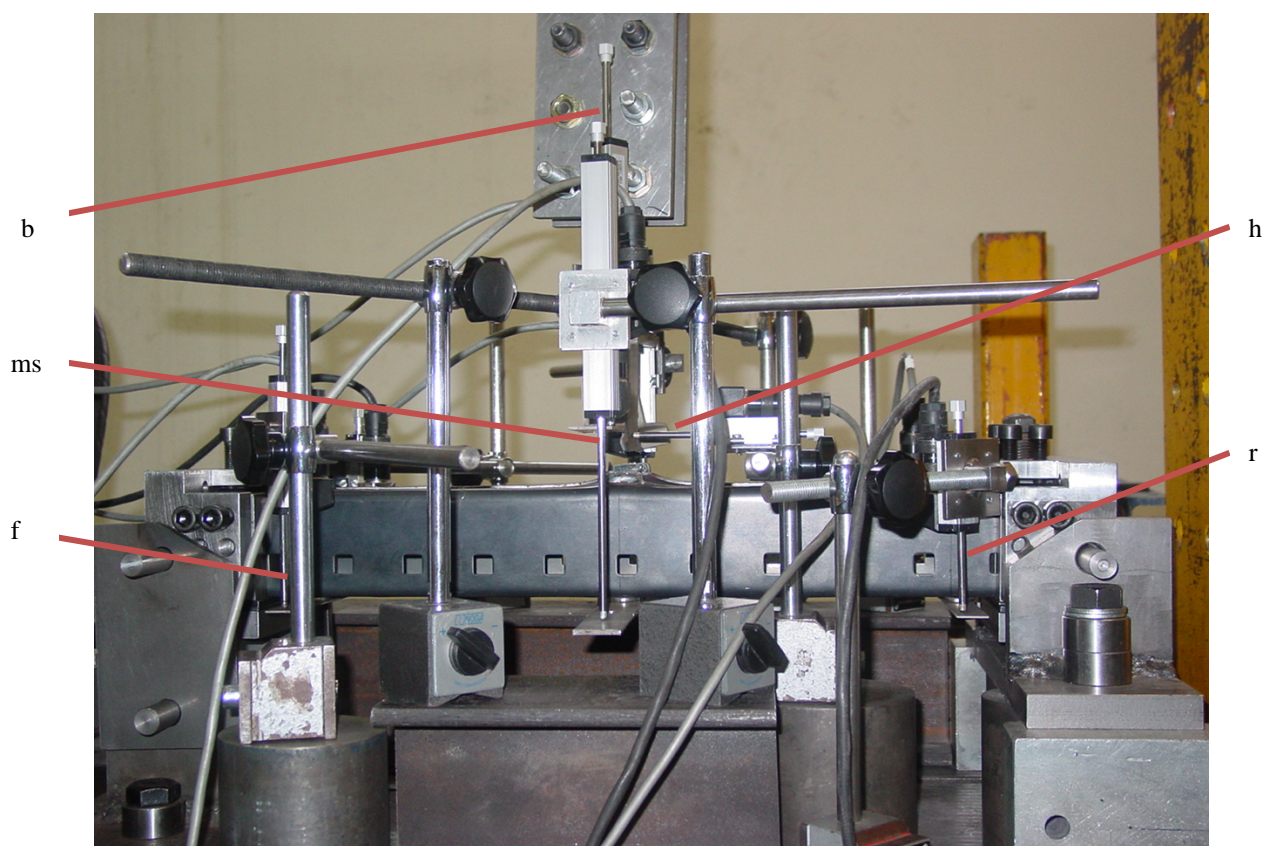
LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 23 DE 44

5.- FOTOGRAFÍAS



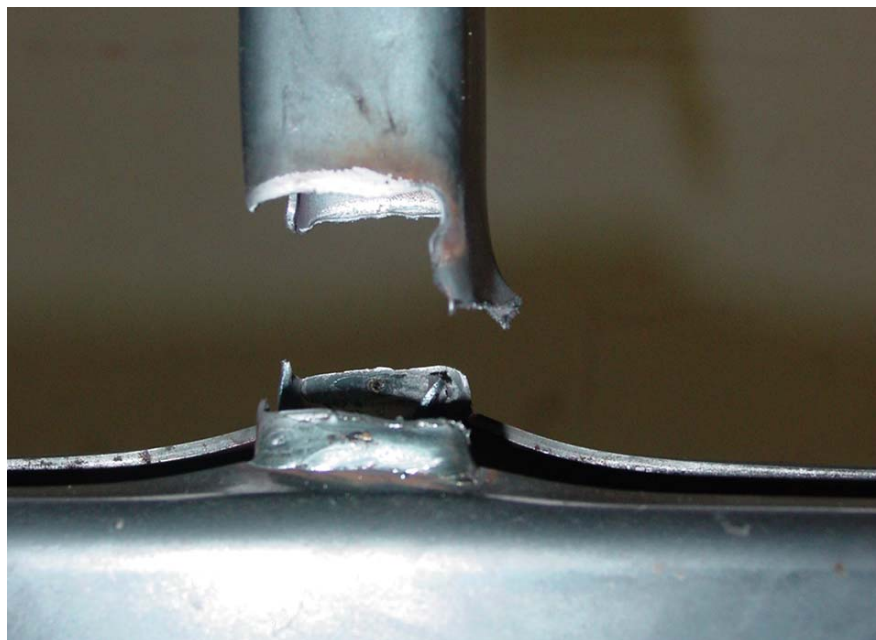
Fot. 1: Disposición ensayo tracción a 90°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 24 DE 44



Fot. 2: Disposició captadores de desplaçament en ensayo a 90°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 25 DE 44



Fot. 3: Tracci3n a 90°. Fallo por rotura de la diagonal junto a la soldadura



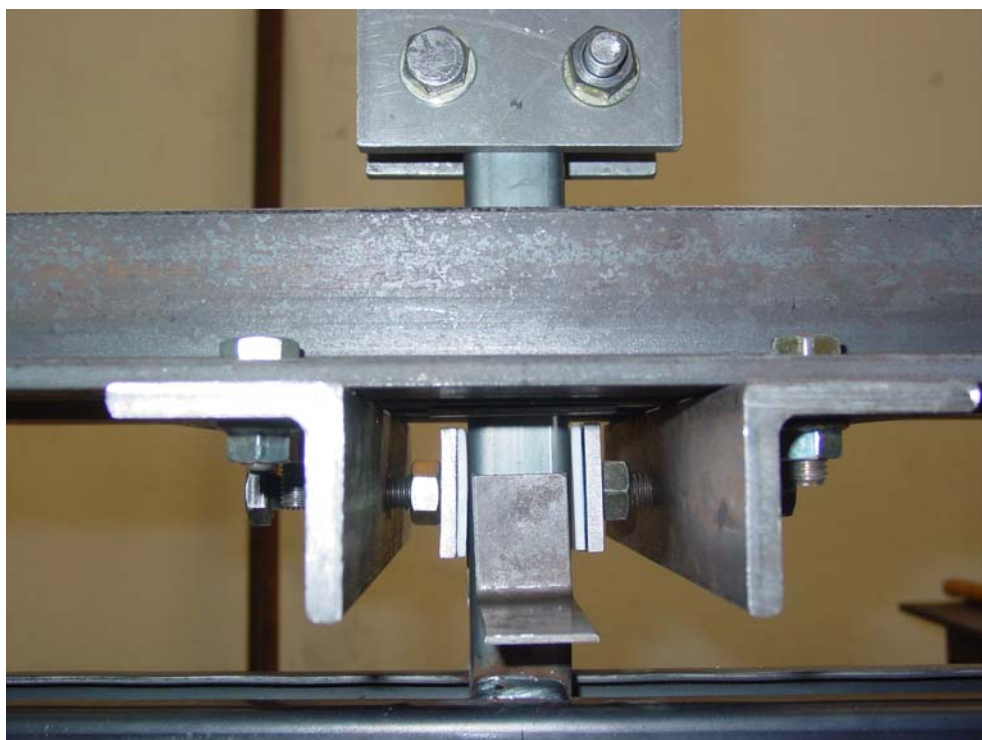
Fot. 4: Tracci3n a 90°. Fallo por rotura desgarro del labio del puntal.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 26 DE 44



Fot. 5: Disposició ensayo compresión a 90°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 27 DE 44



Fot 6: Guiado diagonal en ensayo compresión a 90°.



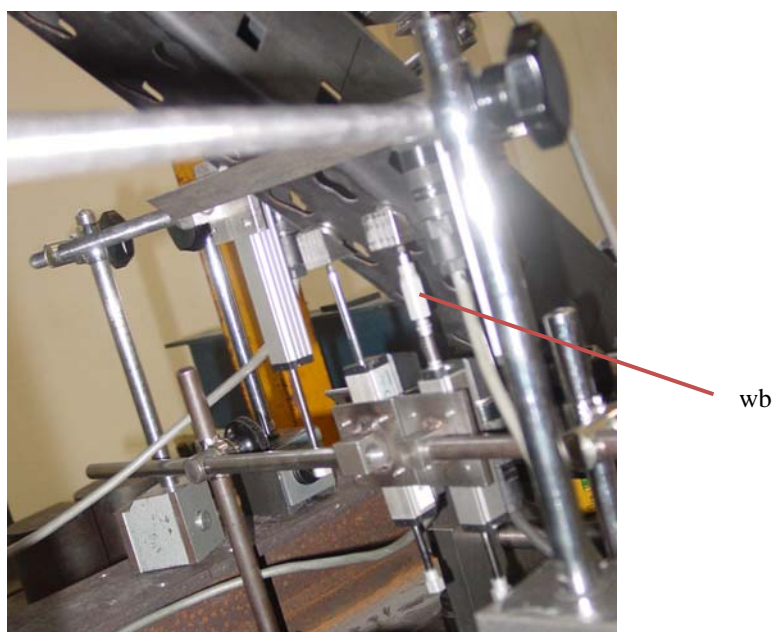
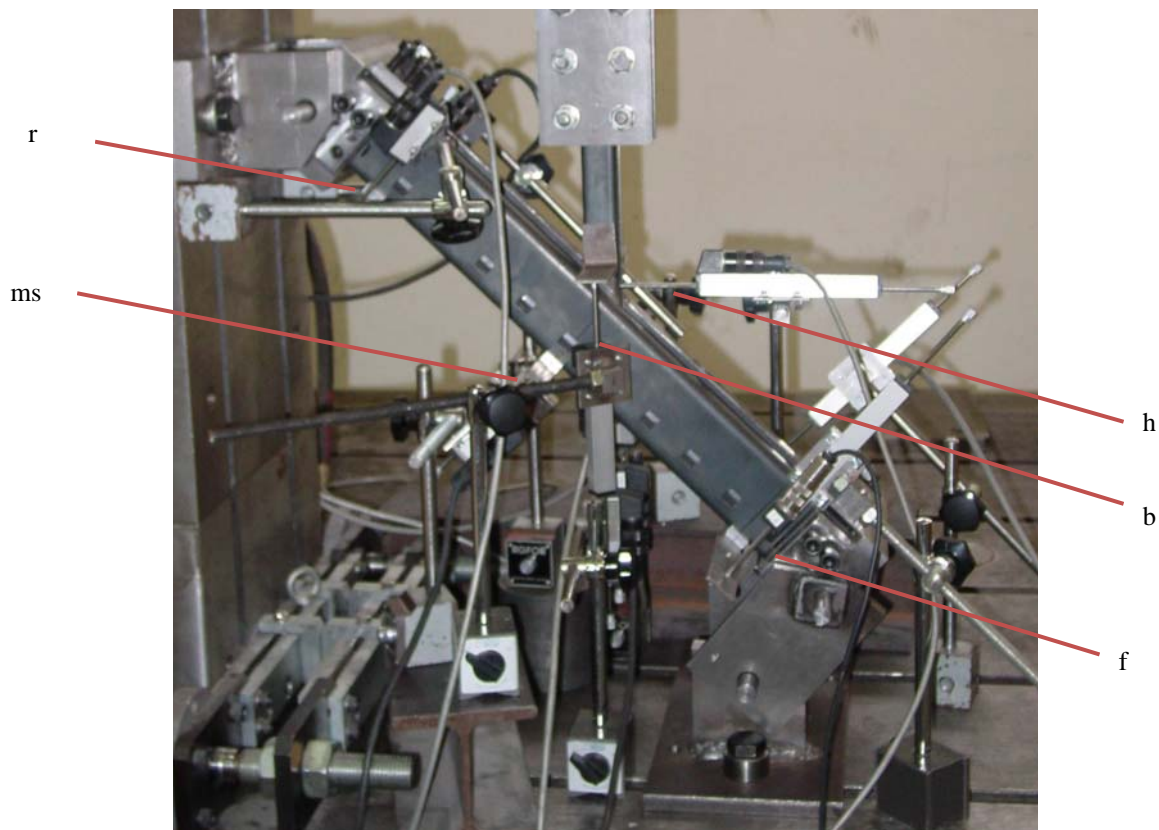
Fot 7: Fallo por deformación de la diagonal y el puntal.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 28 DE 44



Fot. 8: Disposició ensayo tracció a 45°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 29 DE 44



Fot. 9 y 10: Disposición captadores de desplazamiento ensayo a 45°.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 30 DE 44



Fot. 11: fallo por rotura de la diagonal.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 31 DE 44



Fot.12: Disposición ensayo compresión a 45°

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 32 DE 44



Fot.13: Guiado diagonal en ensayo compresión a 45°

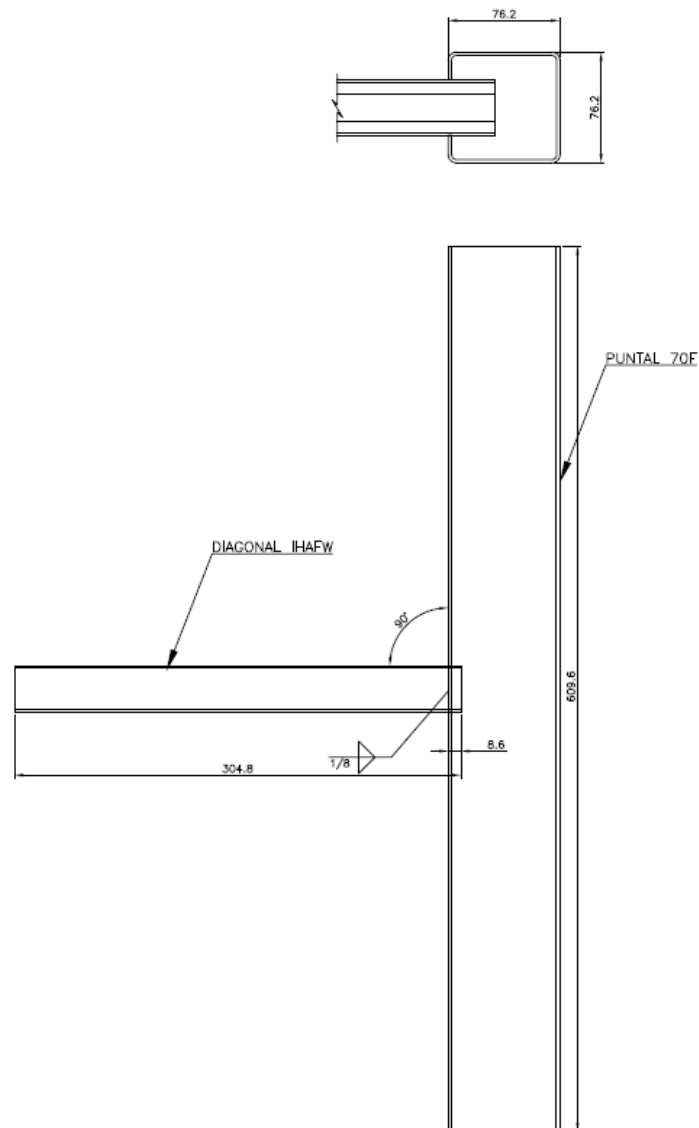
LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 33 DE 44



Fot. 14 y 15: deformación diagonal y labios puntal en unión y abolladura diagonal.

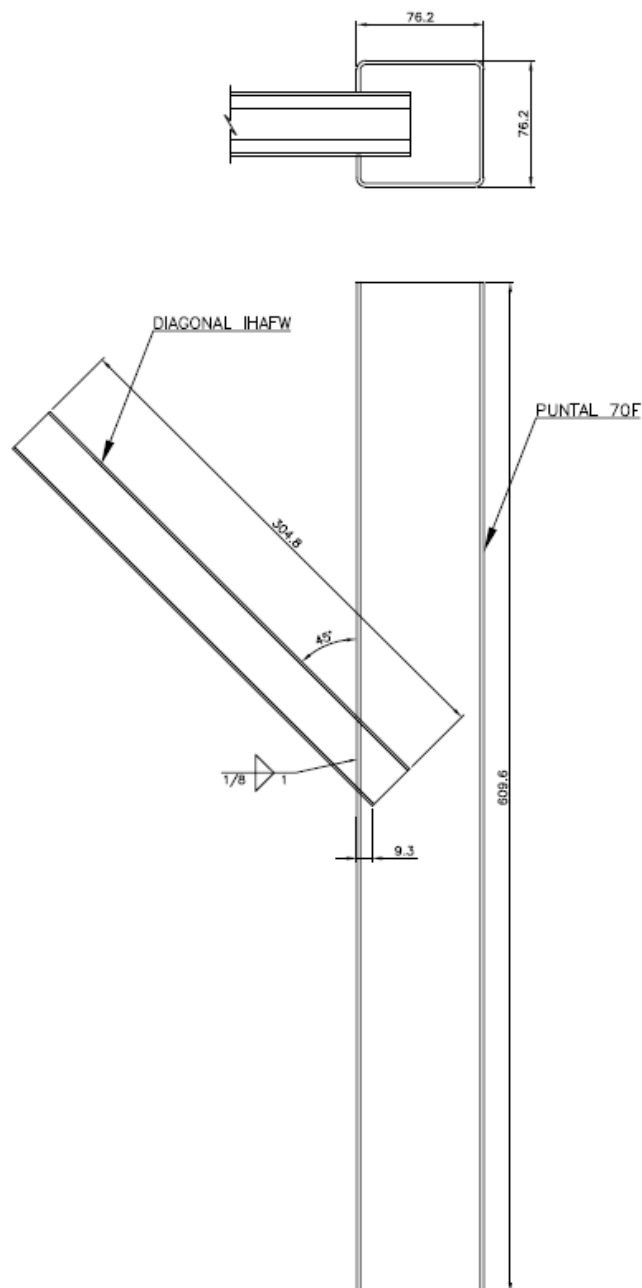
LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 34 DE 44

6.- PLANOS



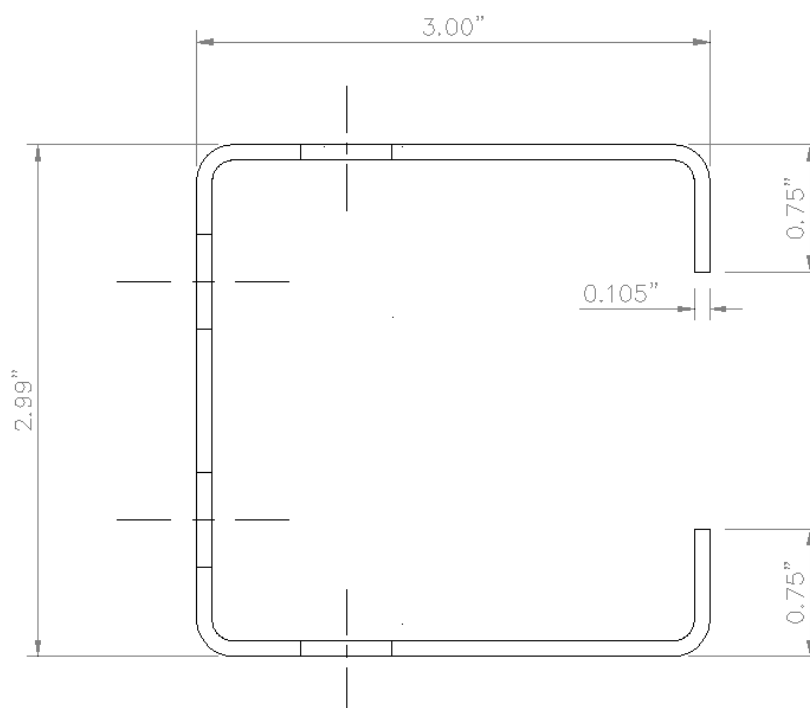
Plano nº1: Diagonal soldada a 90° (cotas en mm)

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 35 DE 44



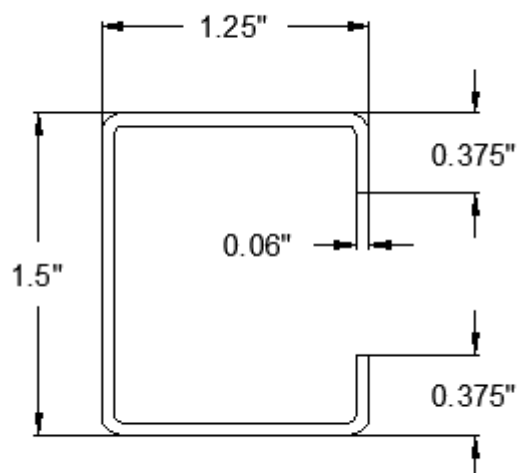
Plano n°2: Diagonal soldada a 45° (cotas en mm)

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 36 DE 44



Plano nº3: Sección puntal

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 37 DE 44



Plano nº4: Sección diagonal

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 38 DE 44

7.- SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS

Se ha realizado también un análisis por elementos finitos de las uniones ensayadas. Para introducir el efecto de la soldadura entre puntal y diagonal en el modelo, se han fijado los nodos a 0.12in de la unión (ver fig. 3 y 4)

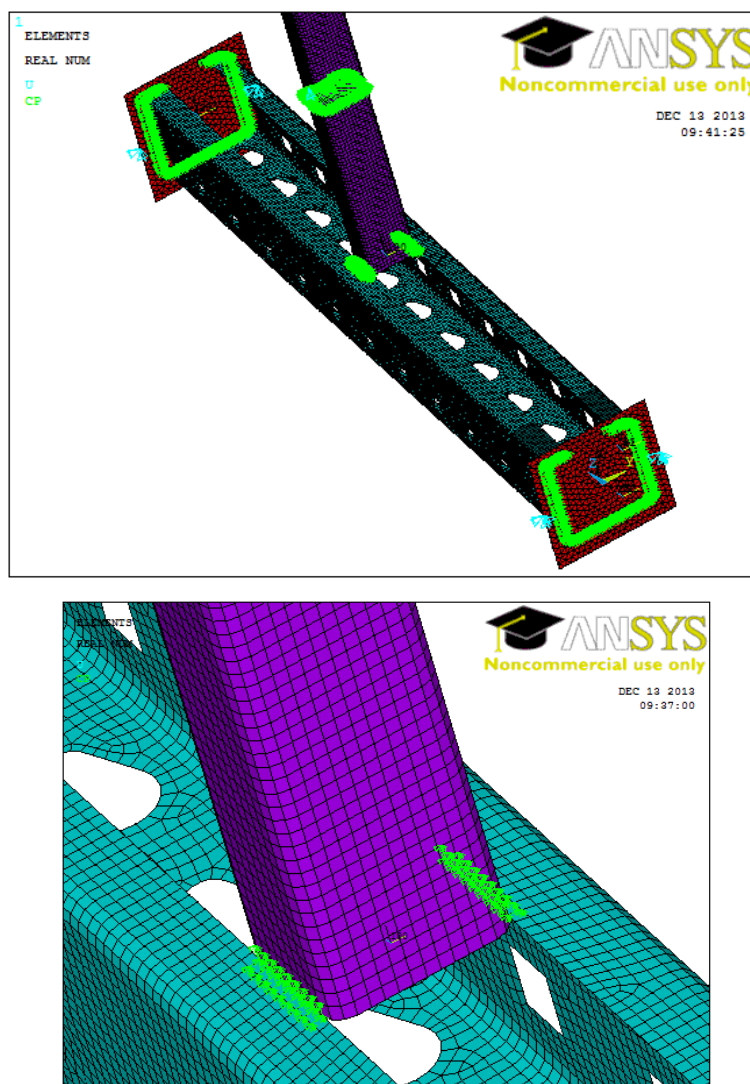


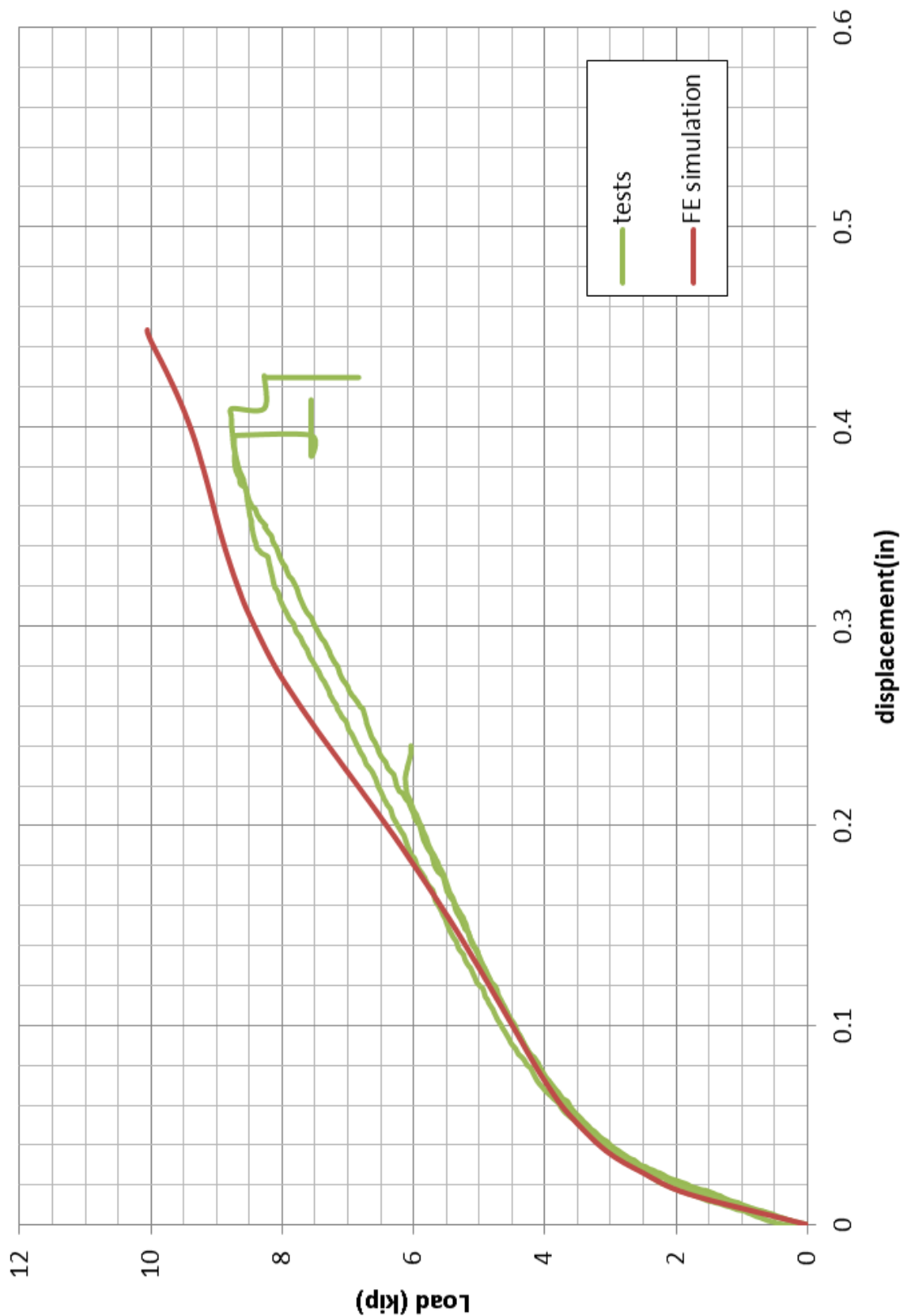
Fig. 3: nodos sin desplazamiento relativo.

Las gráficas obtenidas se comparan con las de los ensayos. Se observa una buena correlación en la zona elástica.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 39 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013

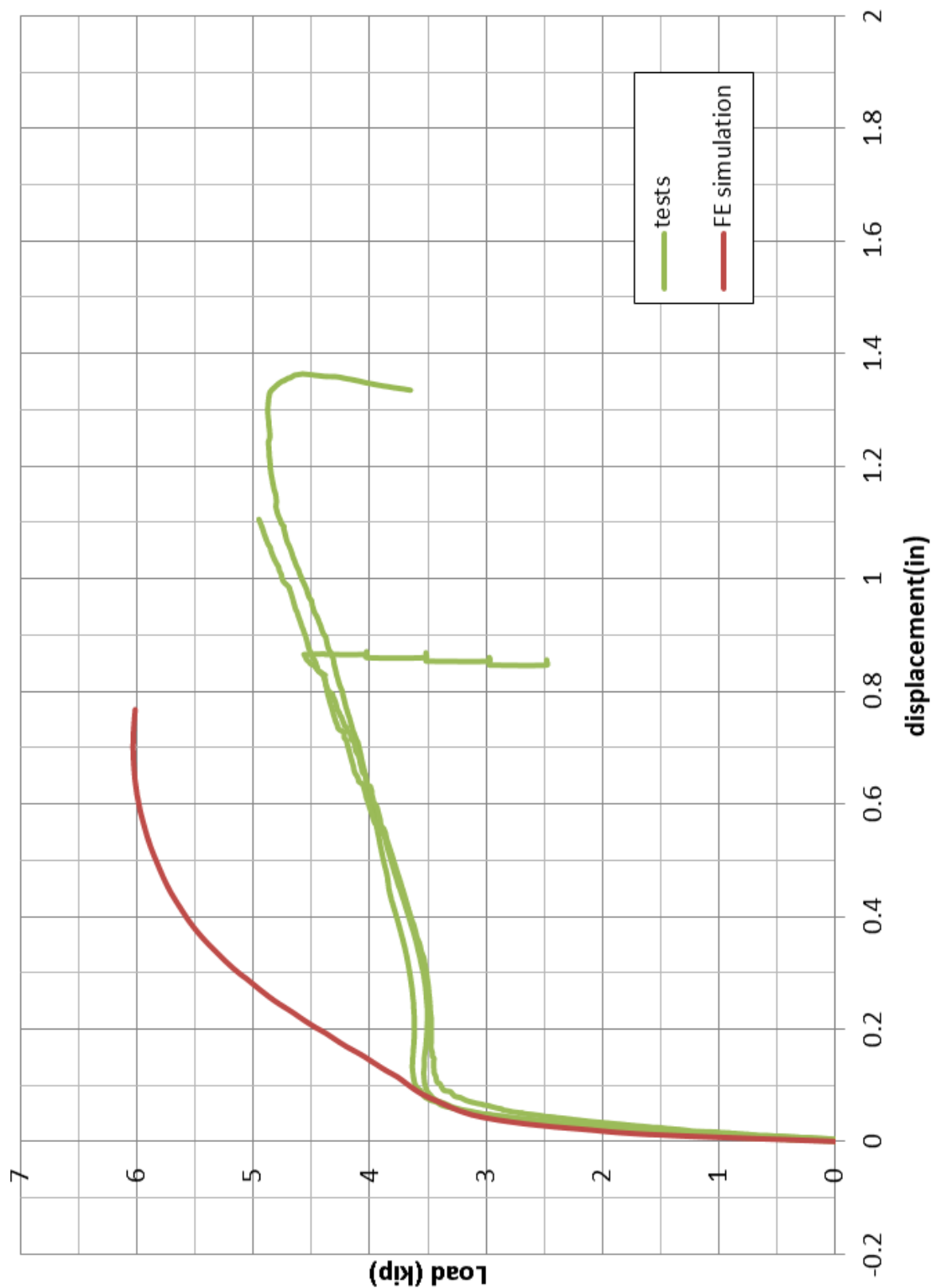
0.105 in-horizontal brace in tension



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 40 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013

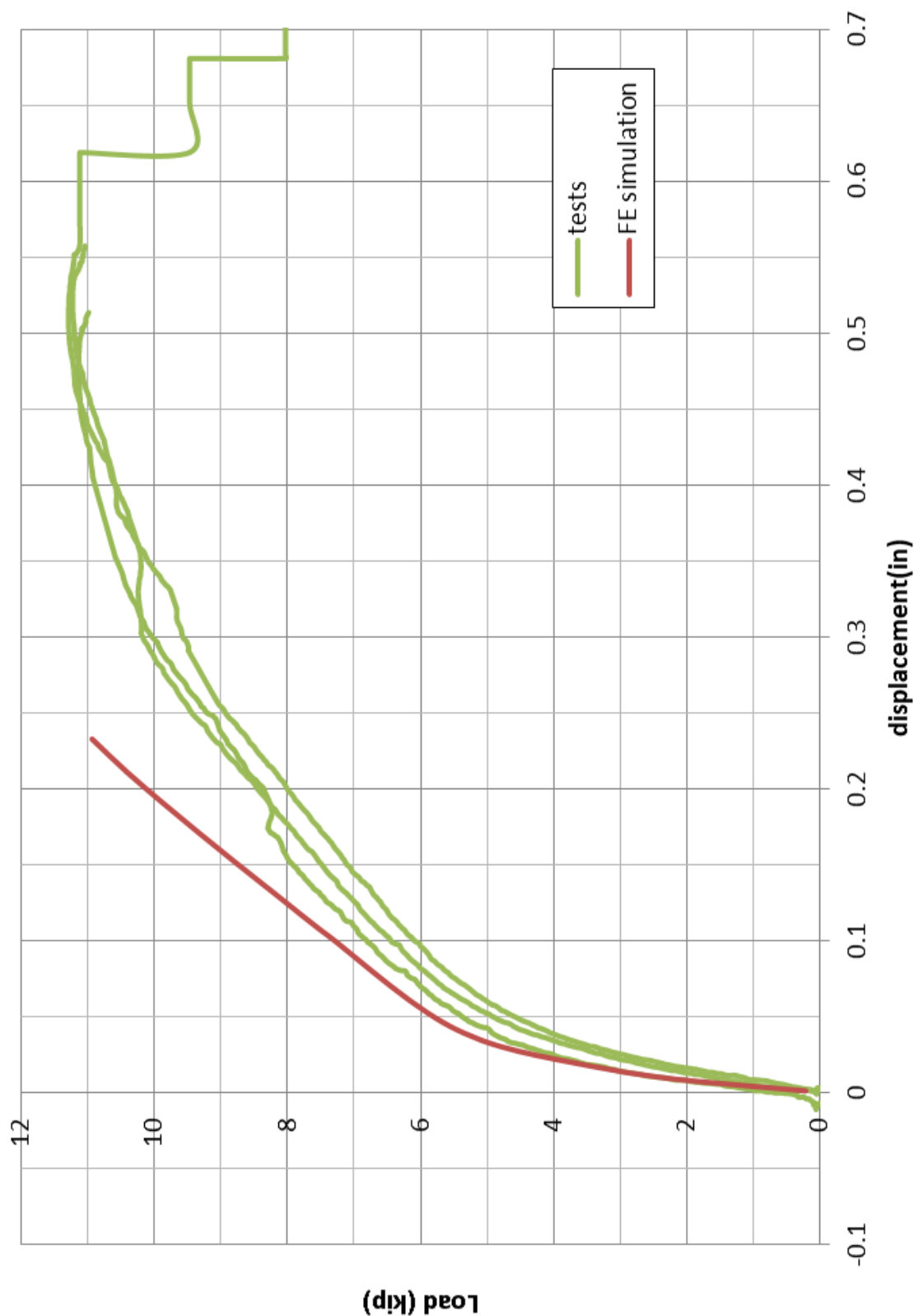
0.105 in-horizontal brace in compression



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 41 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013

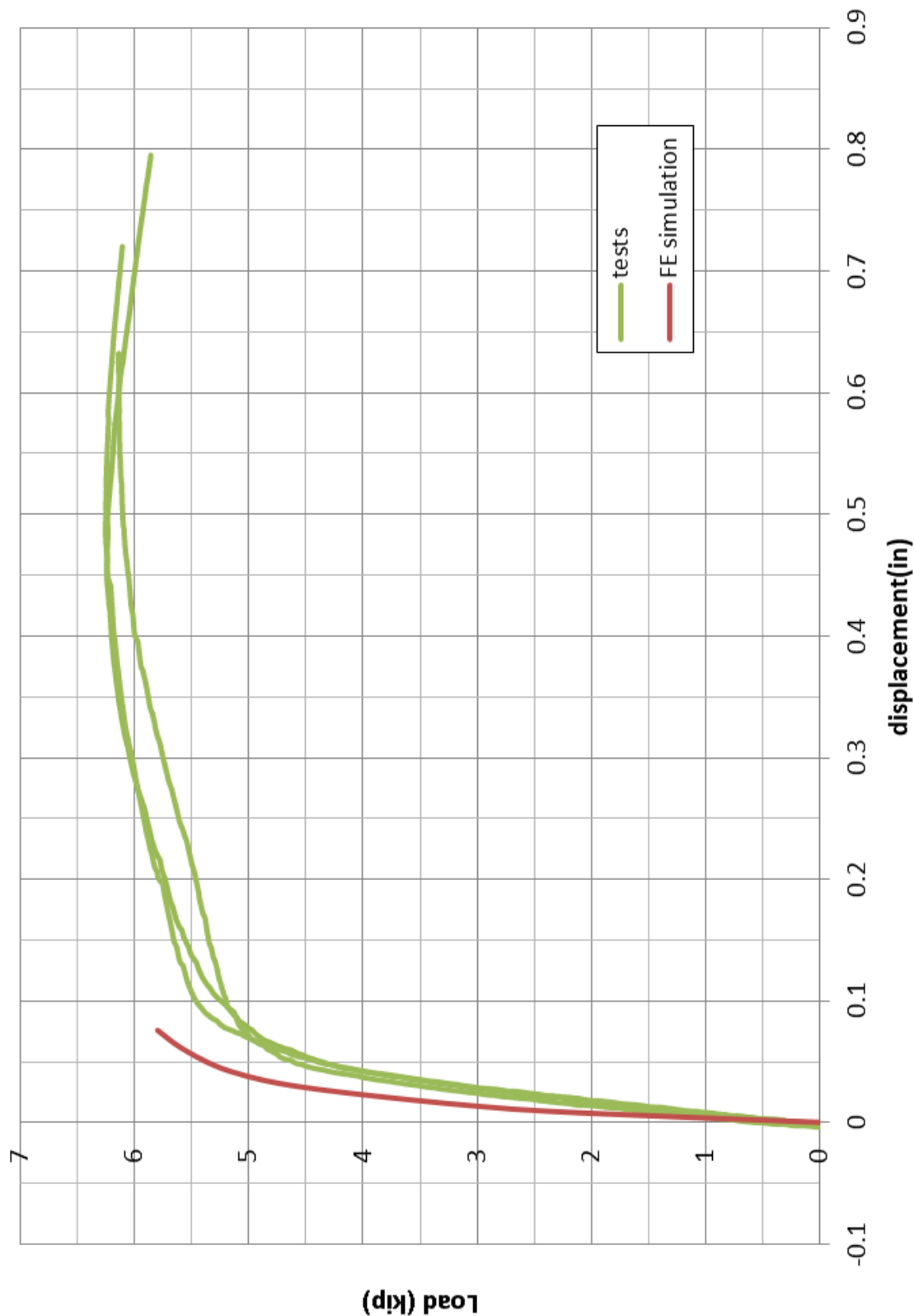
0.105inch-diagonal brace in tension.



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
		PÀG. 42 DE 44

DATA 27 de septiembre de 2013

0.105inch-diagonal brace in compression



LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 43 DE 44

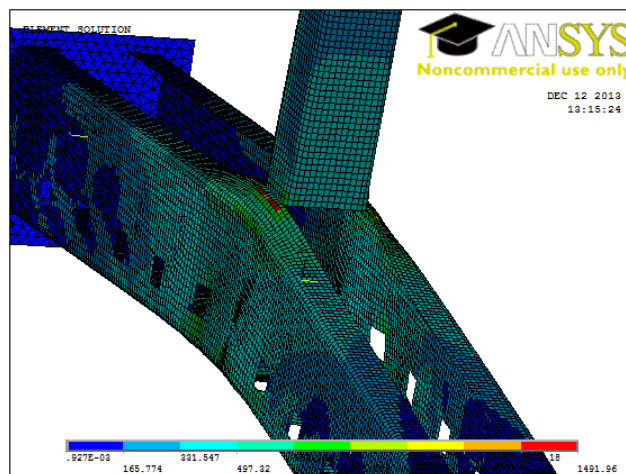


Fig. 5: unió a 90° traccionada. Comparativa ensayo-simulació FE.

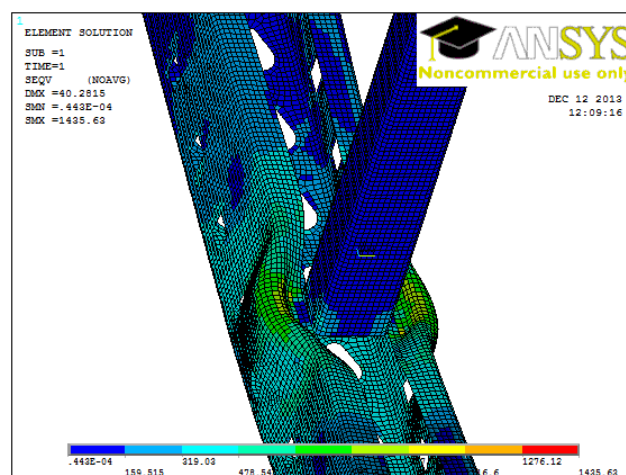


Fig. 6: unió a 90° comprimida. Comparativa ensayo-simulació FE.

LERMA LABORATORI D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS	INFORME	REF.
		43002/2
DATA 27 de septiembre de 2013		PÀG. 44 DE 44

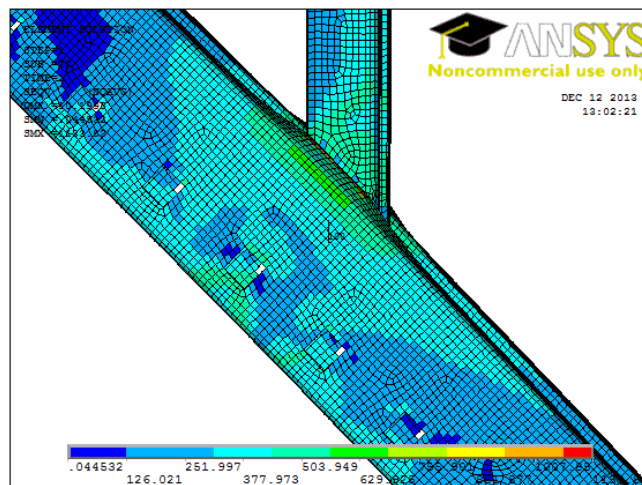


Fig. 7: unión a 45° traccionada. Comparativa ensayo-simulación FE.

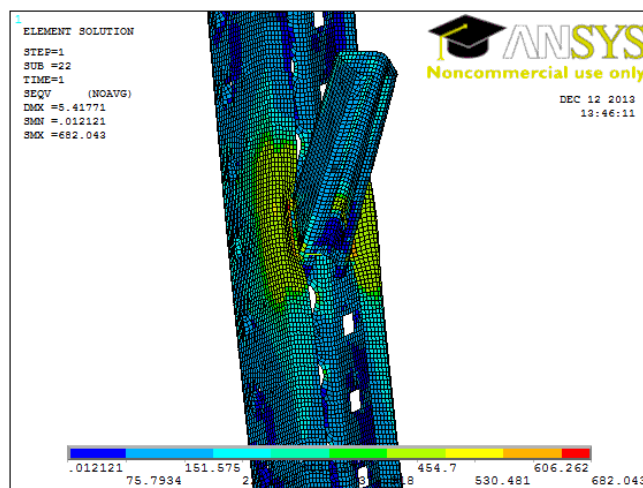


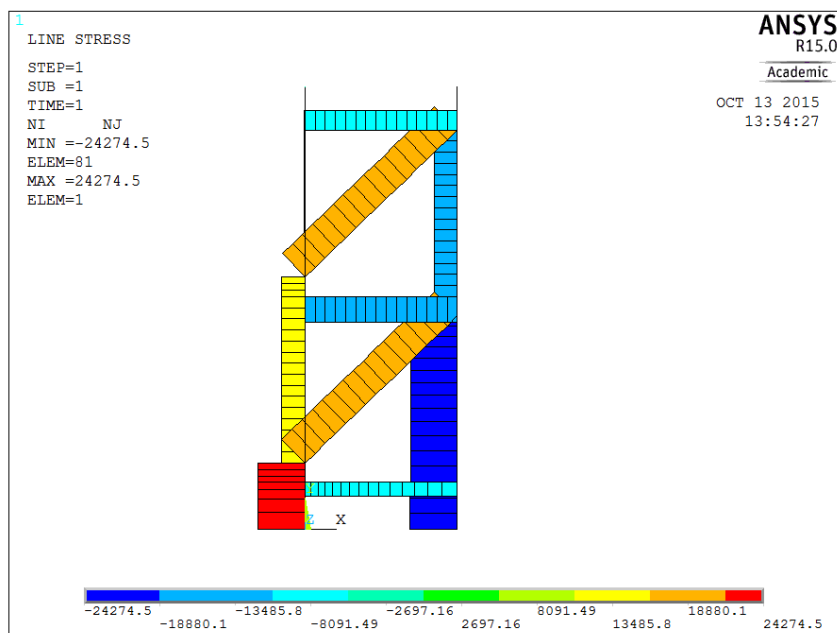
Fig. 8: unión a 45° comprimida. Comparativa ensayo-simulación FE.

5. Distribucions d'esforços

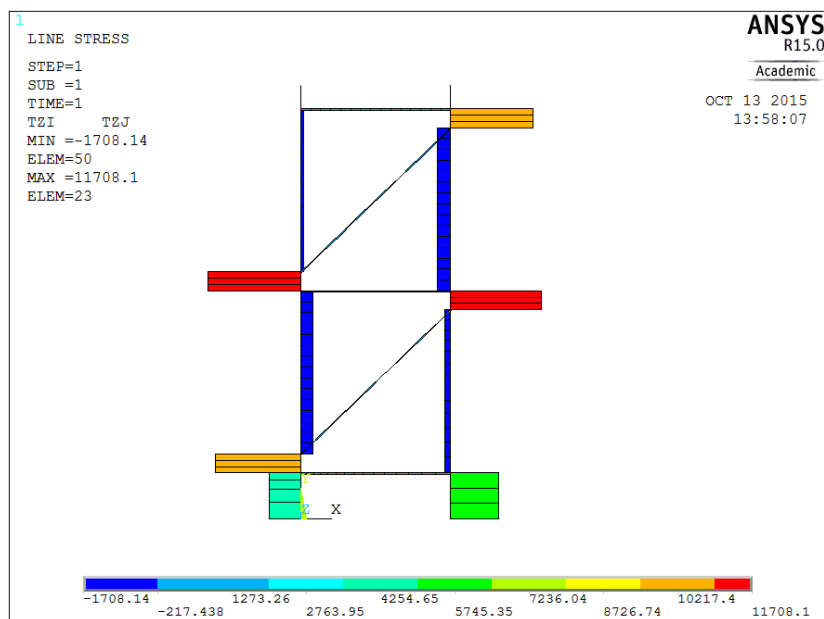
Bastidor rígid

CB70D1 (F=10000N)

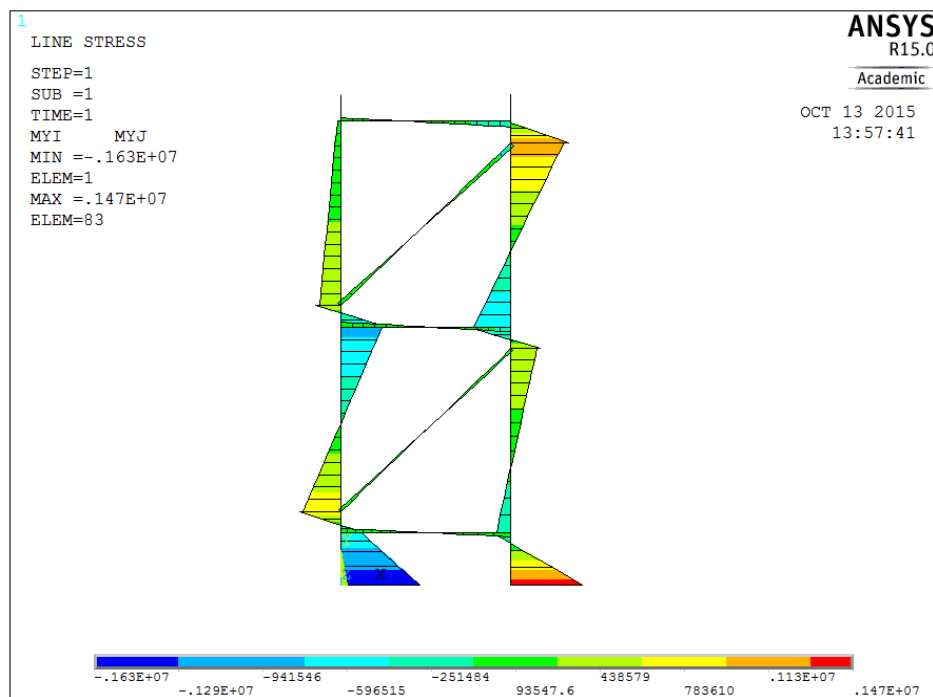
- Normal (N):



- Tallant (N):

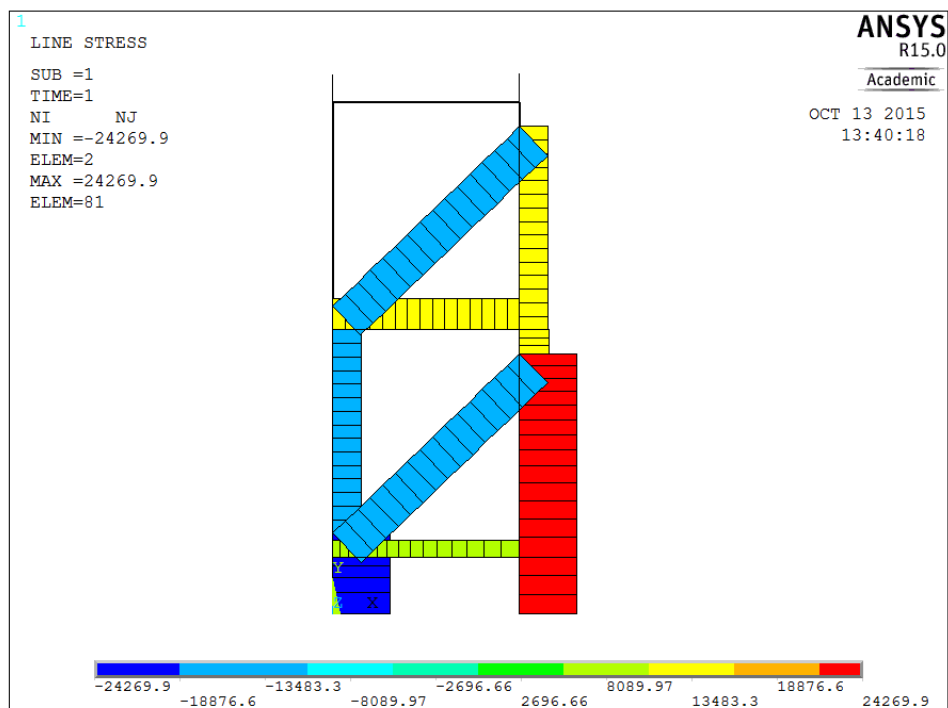


- Moment flector (N·mm):

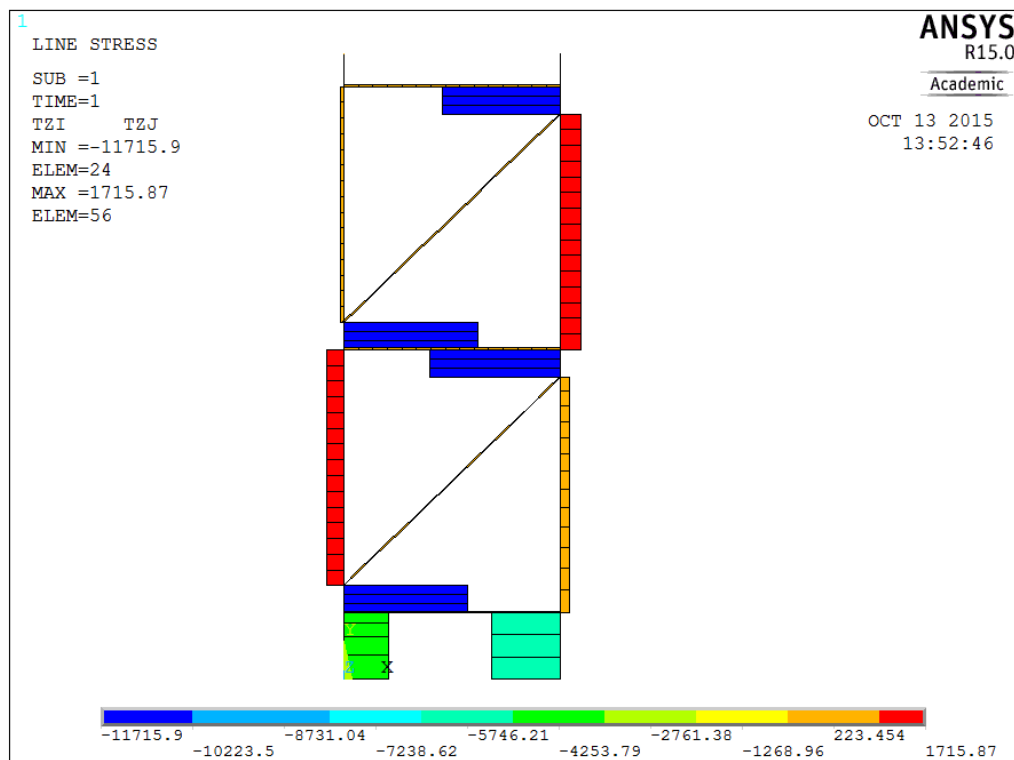


CB70D2

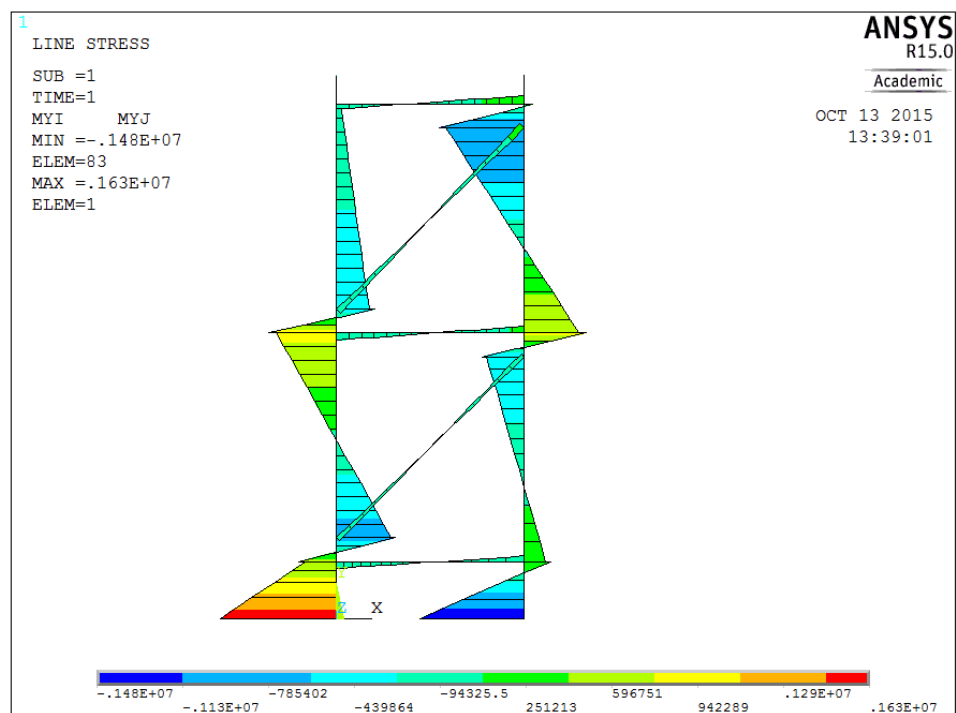
- Normal (N):



- Tallant (N):

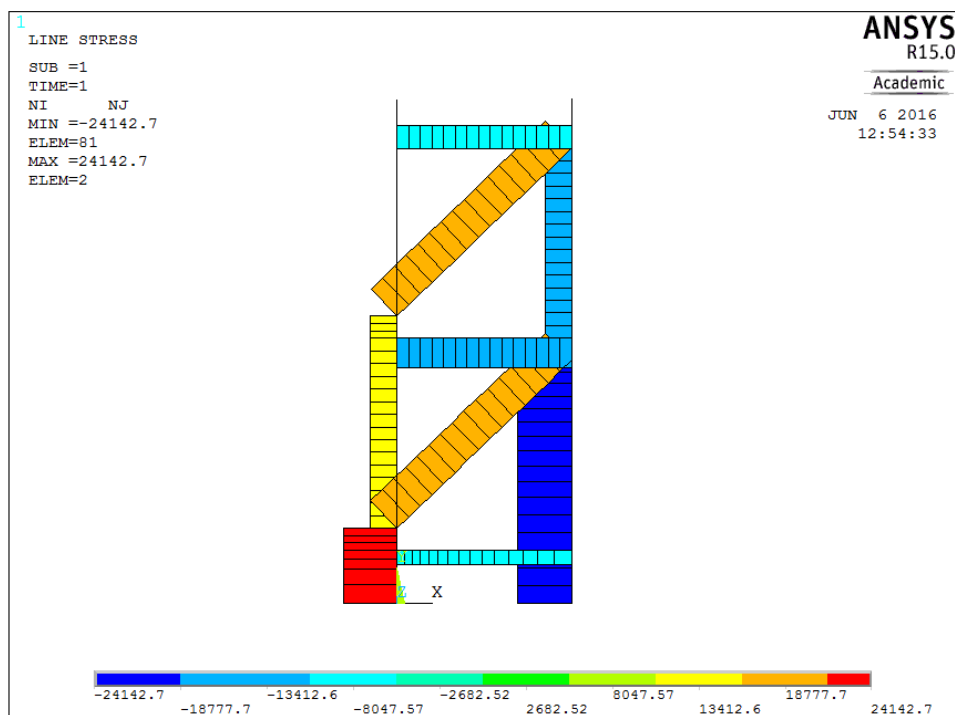


- Moment flector (N·mm):

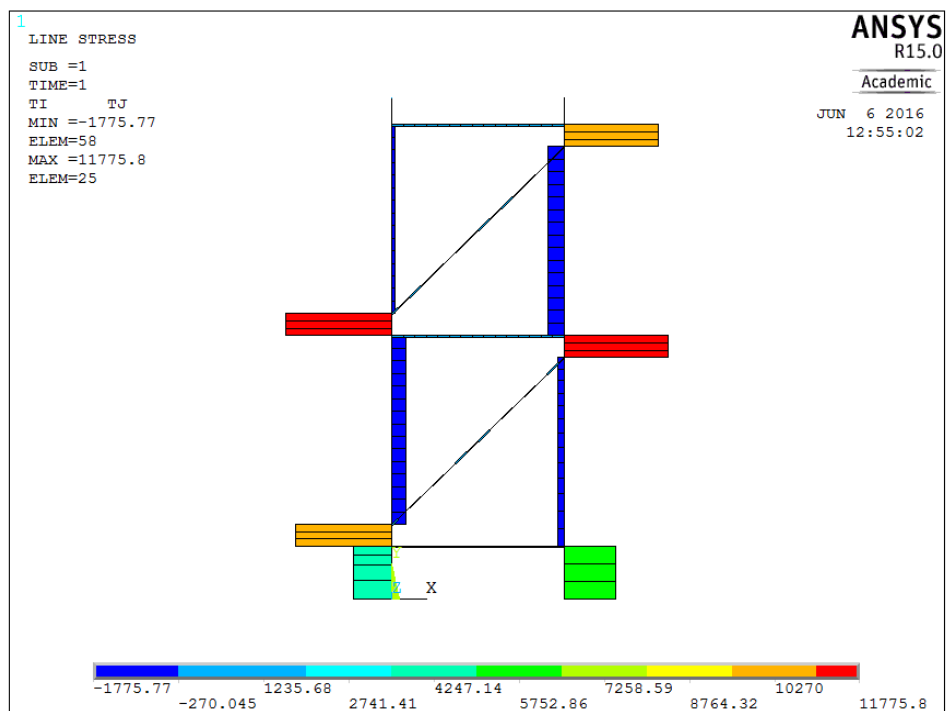


CB77D1 (F=10000N)

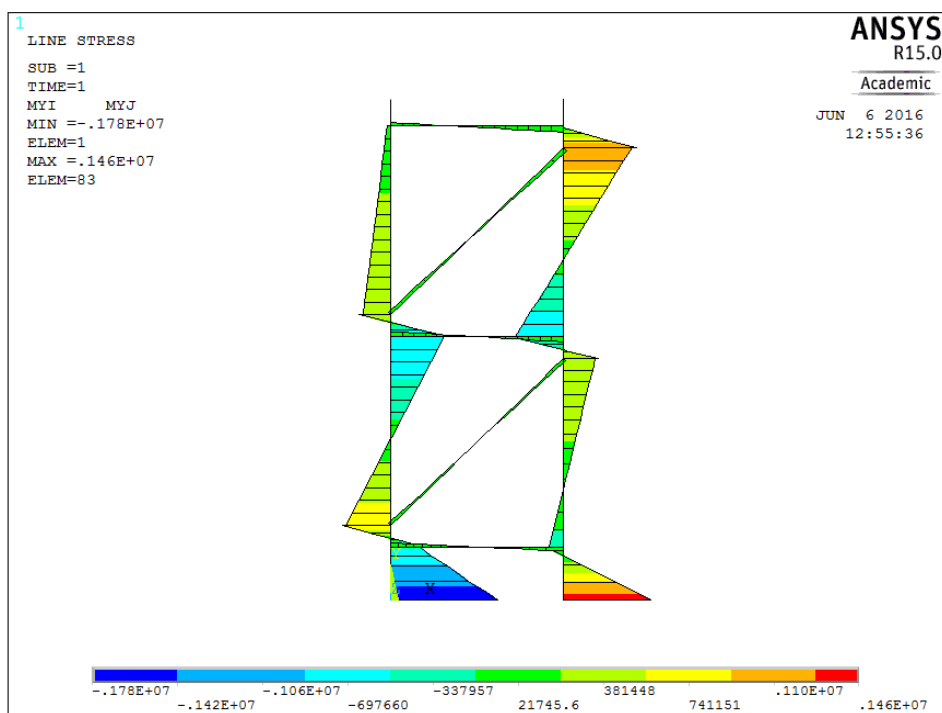
- Normal (N):



- Tallant (N):

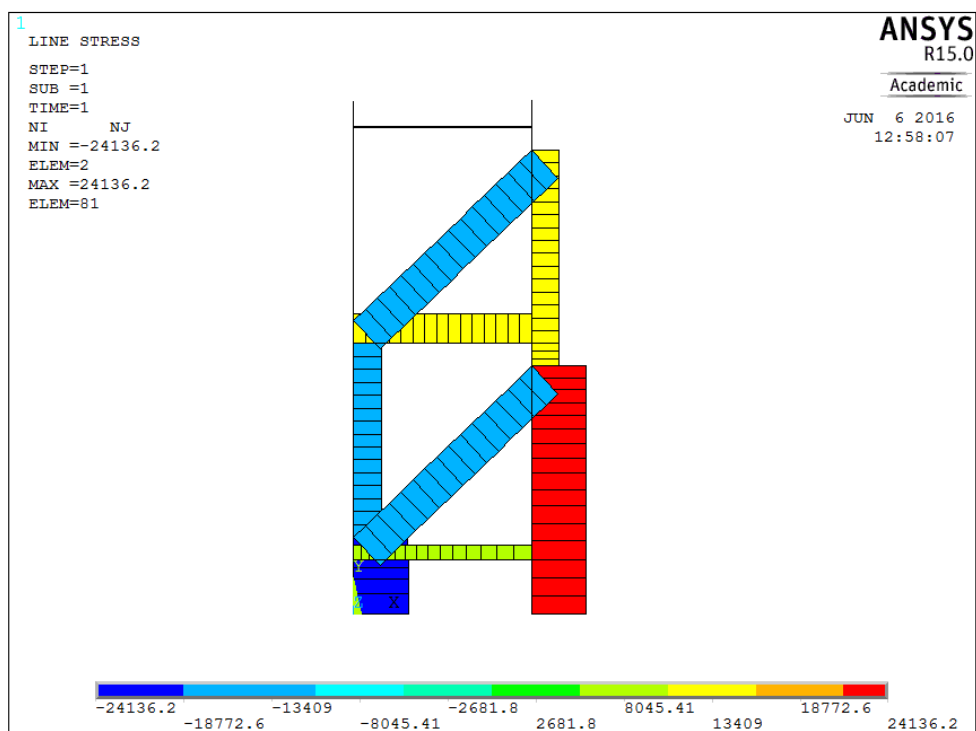


- Moment flector (N·mm):

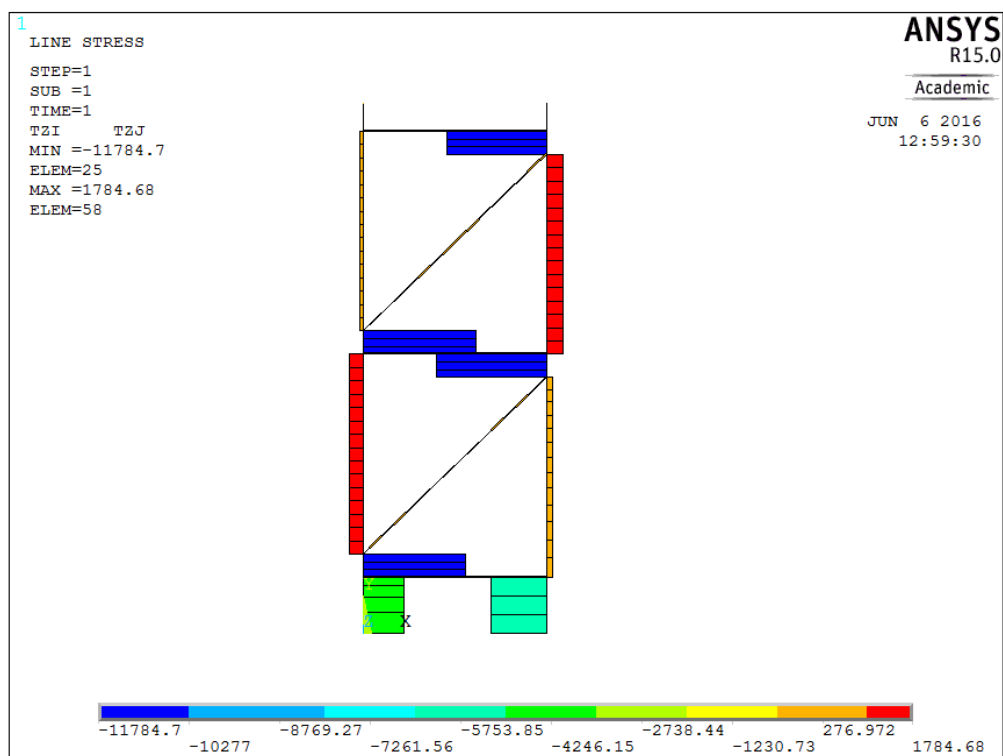


CB77D2 (F=10000N)

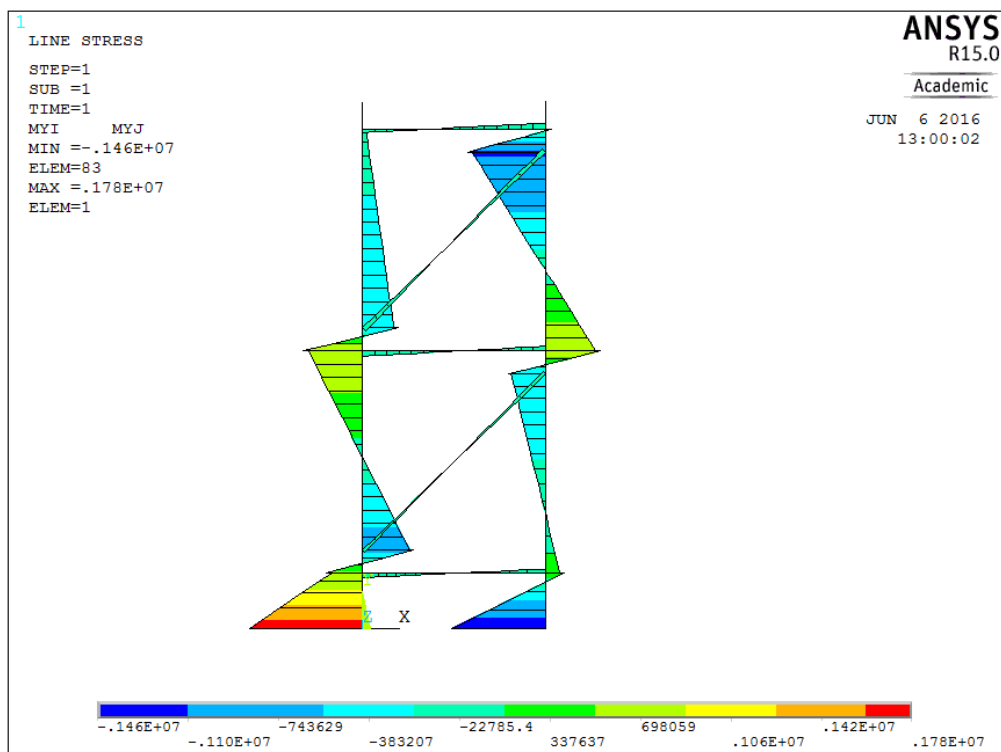
- Normal (N):



- Tallant (N):



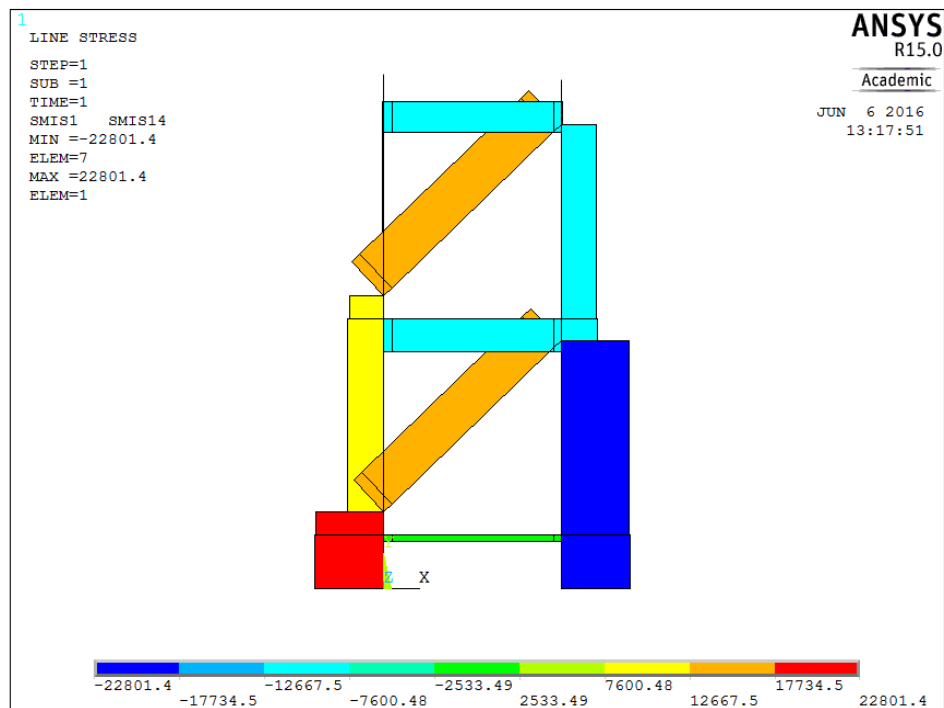
- Moment flector (N·mm):



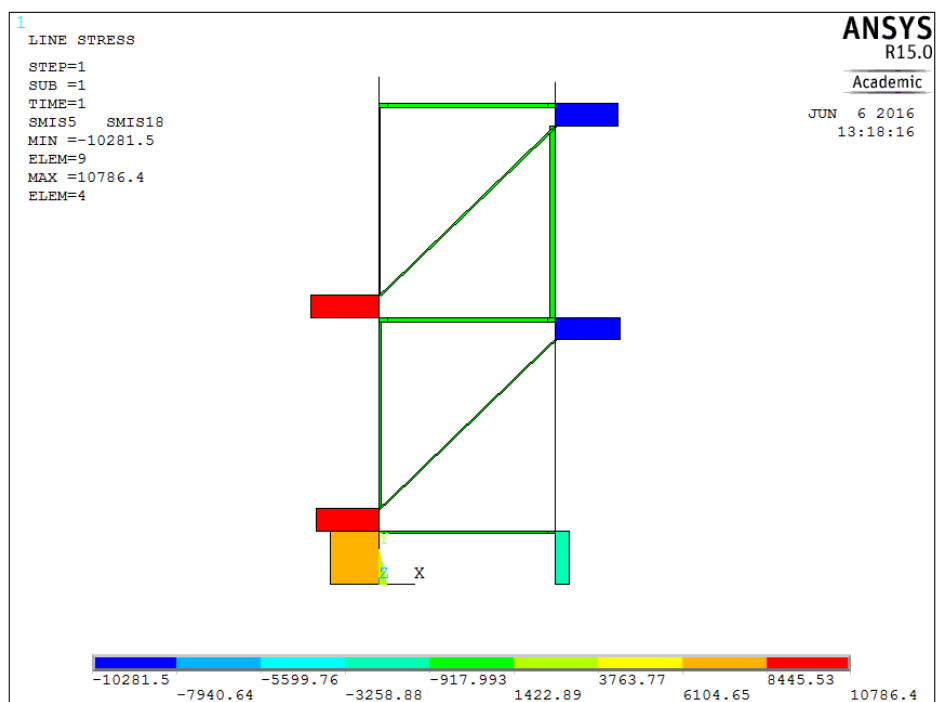
Bastidor Semirígido

CB70D1 (F=10000N)

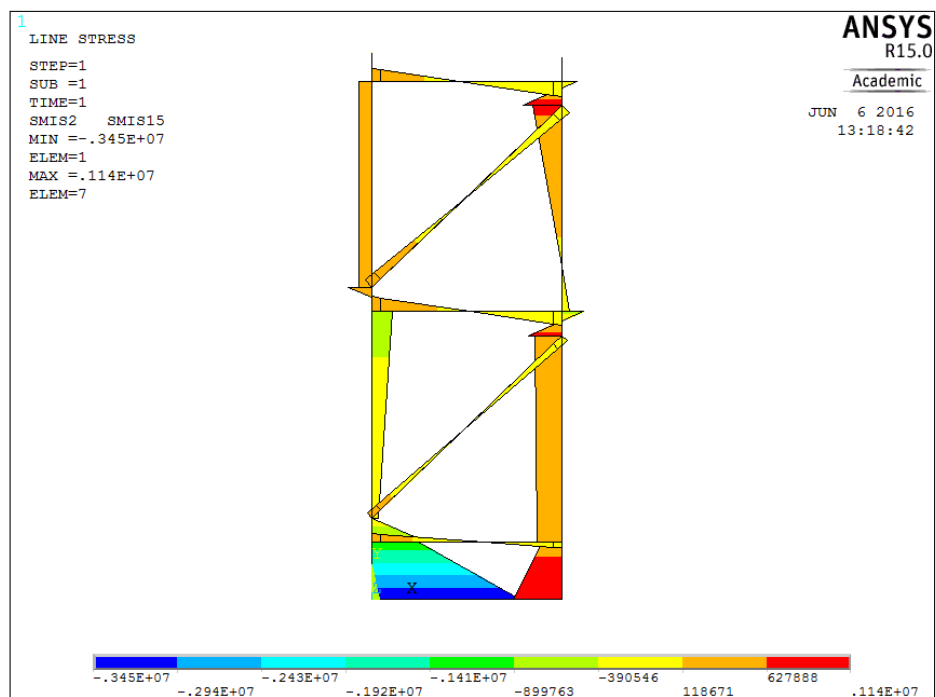
- Normal (N):



- Tallant (N):

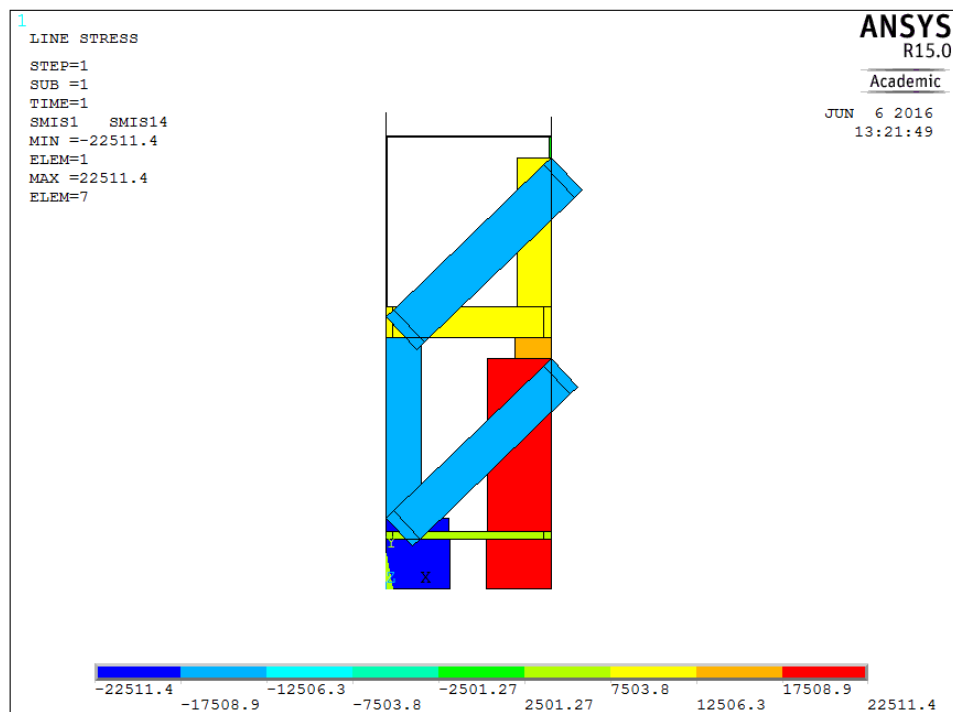


- Moment flector (N·mm):

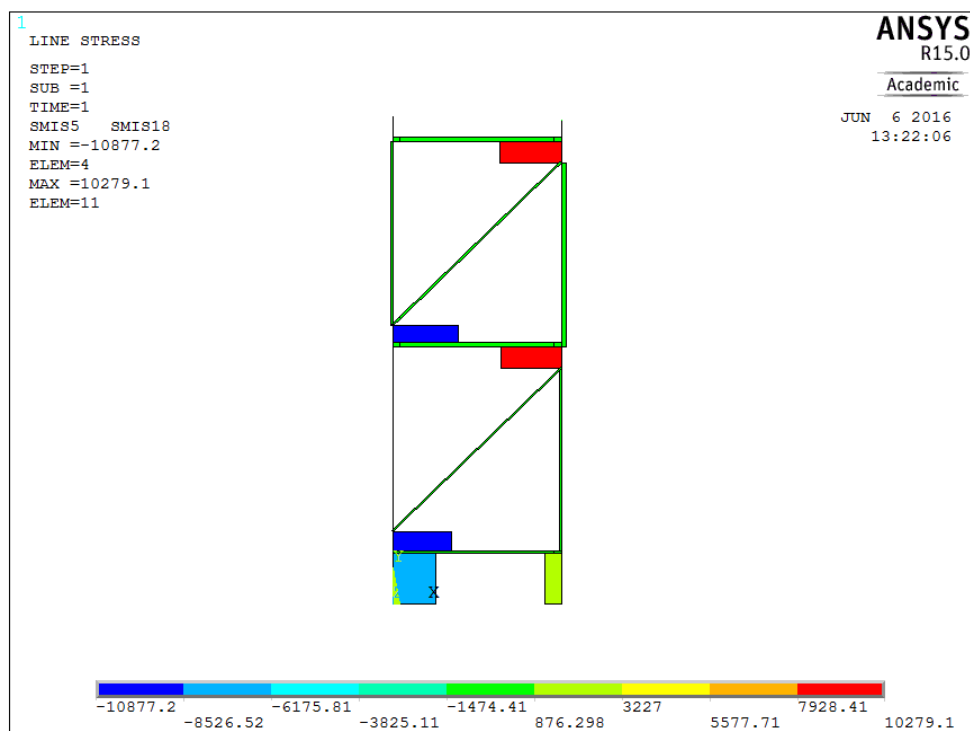


CB70D2

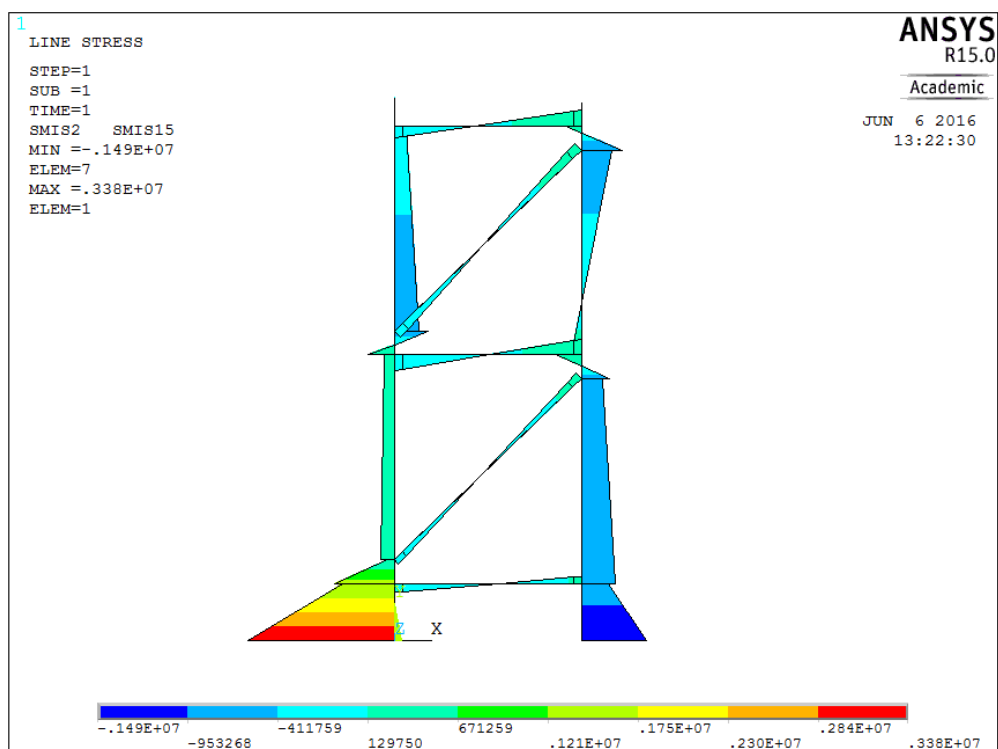
- Normal (N):



- Tallant (N):

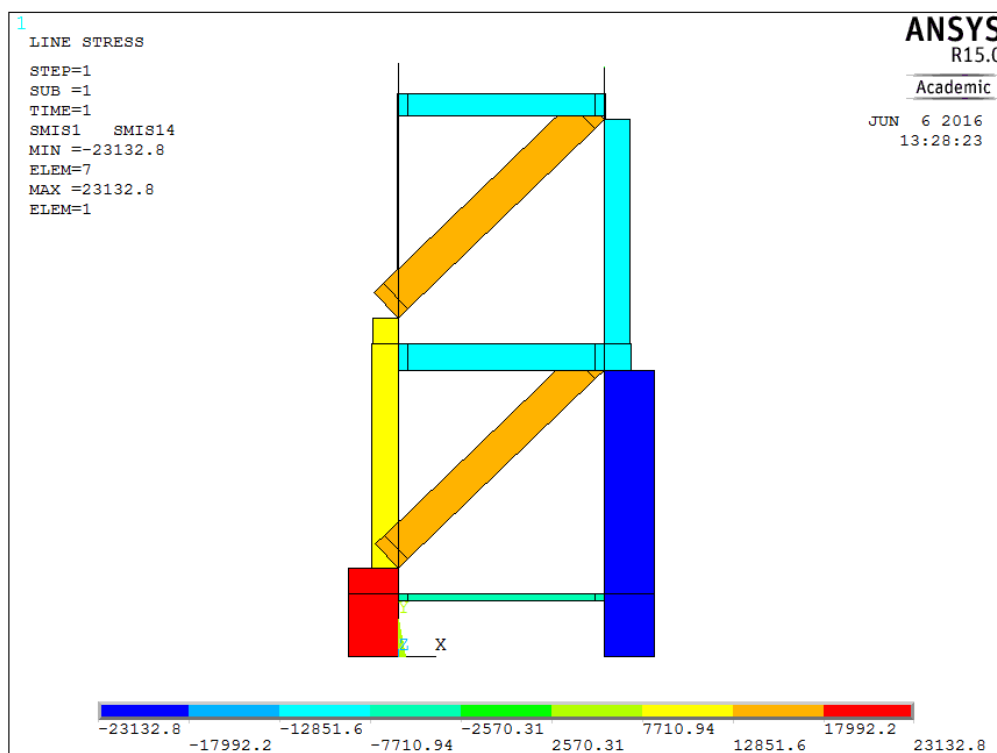


- Moment flector (N·mm):

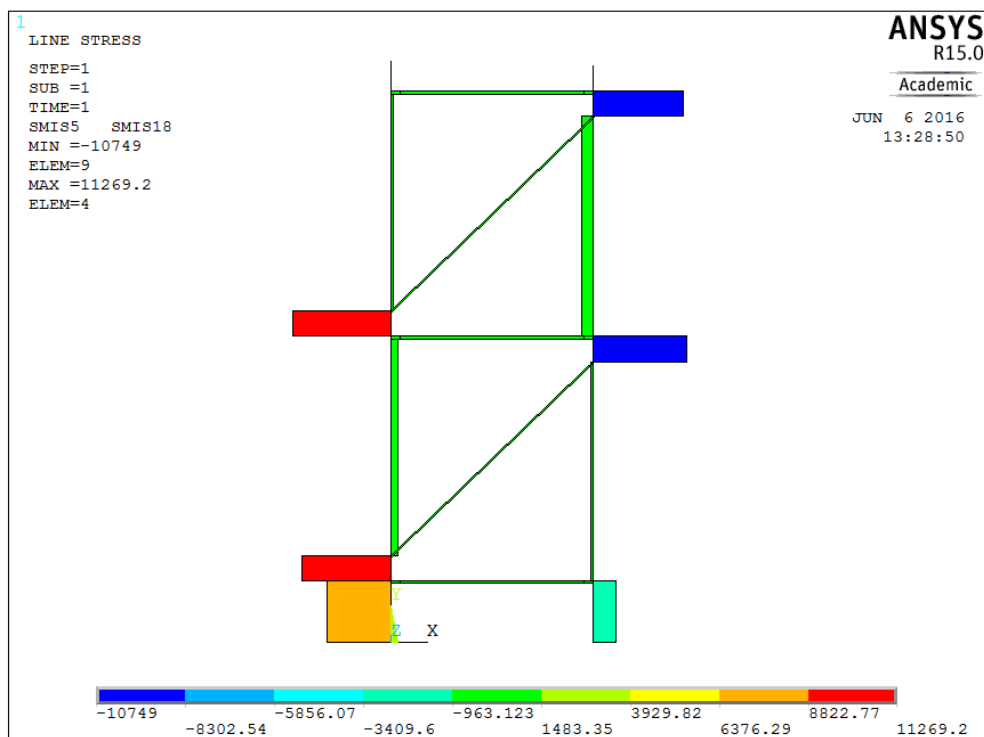


CB77D1 (F=10000N)

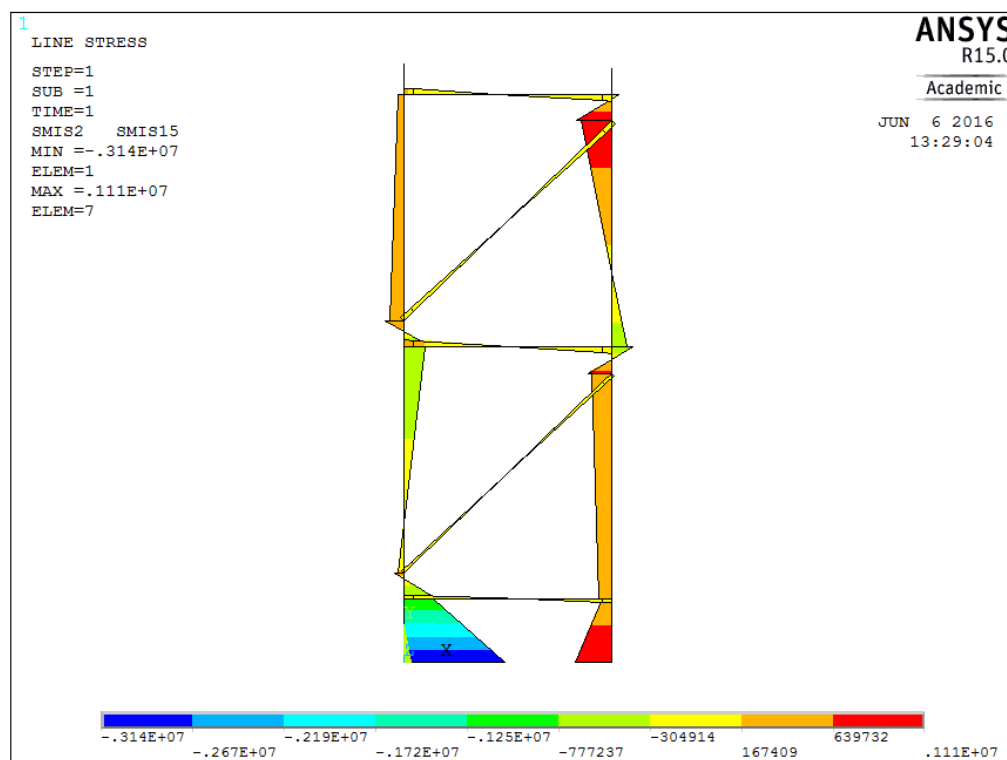
- Normal (N):



- Tallant (N):

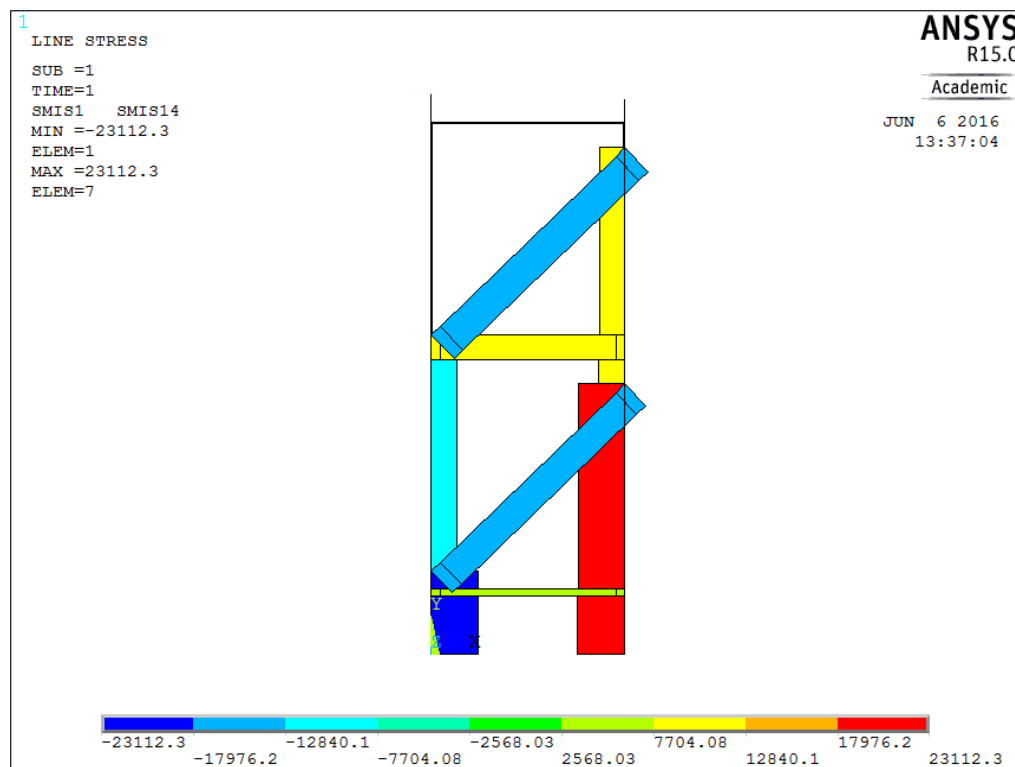


- Moment flector (N·mm):

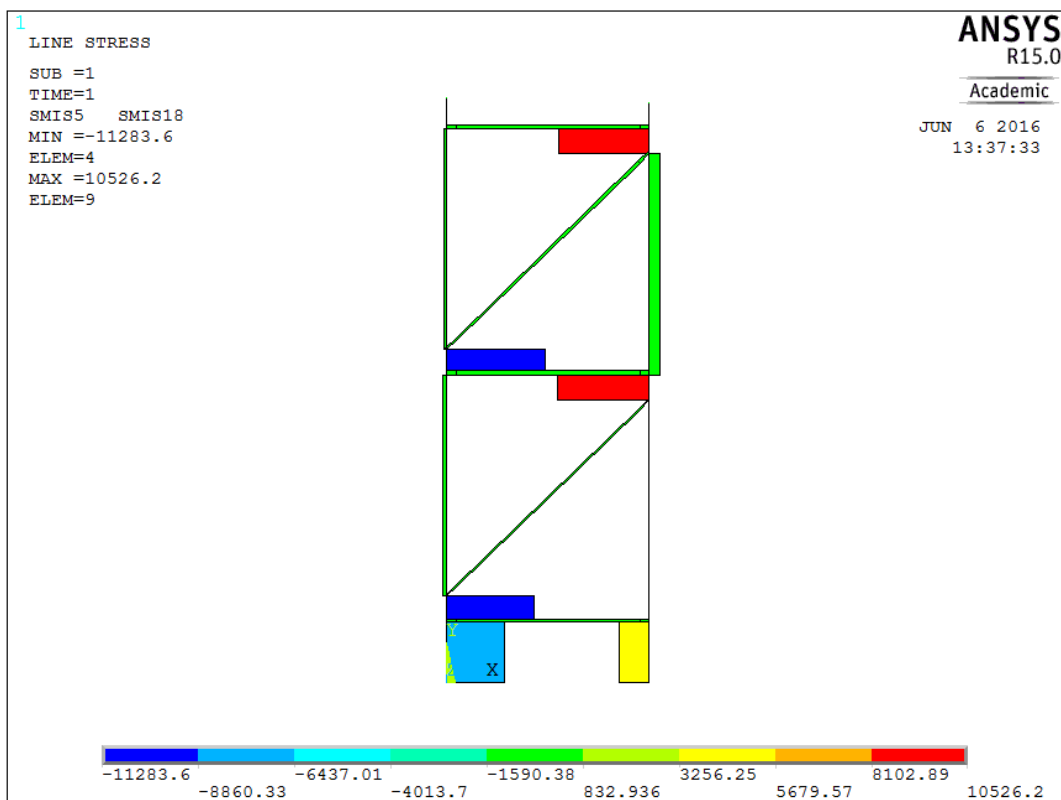


CB77D2 (F=10000N)

- Normal (N):



- Tallant (N):



- Moment flector (N·mm):

